

Fertilización complementada con sílice en la resistencia del tomate a *Fusarium oxysporum* Schtdl.¹

Silica complemented fertilization on tomato resistance to *Fusarium oxysporum* Schtdl.

Yolanda García-Ramos², María Elena Galindo-Tovar², Joaquín Murguía-González², Ivonne Landero-Torres², Otto Raúl Leyva-Ovalle²

Resumen

A nivel mundial, el tomate ocupa el primer lugar en producción. Este fruto presenta beneficios como antioxidante y es ampliamente usado en la cocina mesoamericana. Entre las enfermedades que presenta se encuentra la causada por *Fusarium oxysporum*, que produce marchitez y muerte de la planta. El uso de fertilizantes complementados con sílice mejora la resistencia a patógenos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización complementada con sílice sobre la resistencia del tomate a *F. oxysporum*. En Peñuela, Veracruz, México, se aplicaron de abril a julio del 2015, tres fuentes de sílice en las dosis recomendadas por el fabricante, una 20% menor y otra 20% mayor de los fertilizantes Potencializador Solubilizador (PSD), Silifertidol Ultra y Fosfosilidol, en las variedades Cid F1 y Pony Express. El beneficio del sílice en el crecimiento de la planta estuvo asociado significativamente a las fuentes de fertilizante y las dosis aplicadas. Resultó mejor la aplicación de fertilizantes con dosis 20% mayores a las recomendadas por el fabricante. La variedad Cid F1 fue más susceptible a *F. oxysporum*. El fertilizante con mejores resultados sobre la severidad e incidencia fue PSD, y el mejor crecimiento se observó con contenidos de sílice de 33 y 40%. Por lo que, se concluye que fertilizantes complementados con sílice, contribuyeron al mejor crecimiento de plantas de tomate y al aumento de la resistencia a *F. oxysporum*, debido al aumento en la actividad fotosintética y en el grosor de la cutícula.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, marchitez vascular, fusariosis, enfermedades fungosas.

Abstract

Tomato production stands in first place worldwide. This fruit presents benefits as an antioxidant and is widely used in the Mesoamerican cuisine. In this crop, *Fusarium oxysporum* causes one of the principal diseases that produce wilting and plant death. In fertilizers use, it is known that application of silica improves resistance to diseases. The objective of this work was to evaluate the effect of fertilization supplemented with silica on resistance of tomato to *F. oxysporum*. In Peñuela, Veracruz, Mexico, from April to July 2015, doses recommended by the manufacturer, and also one 20% lower and other 20% higher of PSD, Silifertidol Ultra y Fosfosilidol fertilizers were applied to tomato plants. The benefit of silica in plant growth was significantly associated with fertilizer sources and the applied doses. The best result was observed when doses 20% higher than the recommended, were applied, and Cid F1 variety was

¹ Recibido: 12 de diciembre, 2016. Aceptado: 14 de marzo, 2017. Este trabajo formó parte de la tesis de la primer autora para obtener el grado de Maestría en Horticultura Tropical, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, México.

² Universidad Veracruzana, México. Km 1 Camino Peñuela-Amatlán de los Reyes, Ver., México. CP 94945. yg_ramos@yahoo.com.mx, me-galindo@uv.mx, jmurguia@uv.mx, ilandero@uv.mx, oleyva@uv.mx



more susceptible to *F. oxysporum*. The fertilizer with the best results on the severity and incidence was PSD, and best growth was observed when silica was applied at between 33 and 40%. This investigation reached as a conclusion that the application of fertilizers supplemented with silica, resulted in an improved growth of tomato plants and an increased resistance to *F. oxysporum*, due to the increase in photosynthetic activity and thickness of the cuticle.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, vascular wilt, fusariosis, fungal diseases.

Introducción

El tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de América del Sur, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile; sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México. Los principales tipos de tomate comercializados a nivel mundial son el saldette y el de bola, y su presencia en el mercado es cada vez mayor (SAGARPA, 2016). En México, en el 2014 se produjeron 2, 88 millones de toneladas de tomate, lo que ha permitido posicionar al país como el primer exportador de esta hortaliza (SIAP, 2014). Uno de los principales problemas que enfrenta este cultivo, es la afectación por enfermedades; entre ellas se encuentra el amarillamiento o marchitamiento, causado por *Fusarium oxysporum* Schtdl. (Álvarez-Hernández, 2012; Castellanos et al., 2013; Rodríguez, 2013), que provoca grandes pérdidas cuando la temperatura del suelo y del aire son altas, como ocurre en climas cálidos (Agrios, 2005). El hongo penetra en la planta por las raíces, luego invade algunos vasos del xilema y pronto taponan todo el sistema vascular. El primer síntoma es un amarillamiento, más adelante se observa la marchitez de las hojas por falta de nutrientes y por último, la defoliación de la planta (Castellanos, et al., 2013). Cuando el hongo invade y deteriora el sistema vascular causa la marchitez y muerte de la planta (Garcés-de-Granada et al., 2001).

Para controlar esta enfermedad se han empleado diferentes métodos; aunque es importante mencionar que la prevención es la mejor opción. El efecto de la aplicación de sílice en la reducción de enfermedades en dicotiledóneas como fresa, soya, rosa y tomate ha sido documentada por Pozza et al. (2015); esto es importante, especialmente sobre inocuidad y producción orgánica (Gunes et al., 2007). Son dos las hipótesis que explican el incremento de la resistencia a enfermedades, debido a la aplicación de Si, la primera propone que se forma una barrera física que impide la penetración del patógeno y la segunda, que el Si está asociado a una actividad biológica relacionada con la expresión de mecanismos de defensa natural (Sakr, 2016). Con respecto a la primera hipótesis, Urrestarazu et al. (2016) reportaron, en un estudio histológico realizado en tomate, que la aplicación de sílice aumentó el grosor de la cutícula en hojas y tallos. Además, en tomate, la aplicación de sílice ha reducido la incidencia de enfermedades causadas por patógenos como *Ralstonia solanacearum* (Diogo y Widra, 2007) y *Pythium aphanidermatum* (Heine et al., 2007); Almeida et al. (2009) probaron la efectividad de la aplicación de silicato de calcio con un fertilizante foliar mineral orgánico para combatir a *Frankliniella schultzei*.

Se ha estudiado la respuesta de las plantas de *Musa* cultivar Maçã ante *F. oxysporum*. En este caso, la aplicación de Si produjo una reducción de un 27% en los síntomas de marchitamiento (Fortunato et al., 2014). En tomate de cáscara, plantas fertilizadas con altas dosis de Si, presentaron valores más bajos de severidad en la marchitez causada por *F. oxysporum* (Gómez-Camacho et al., 2006). En plántulas de tomate, Huang et al. (2011) observaron una reducción en la gravedad del ataque de *Fusarium* y la podredumbre de la raíz, al aumentar el contenido de Si de las raíces. Aquino (2006) también observó disminución en la severidad de la enfermedad al aplicar Si a plantas de tomate desarrolladas en invernadero. Huang et al. (2011) sugirieron que la disminución de la severidad de la fusariosis se debe al retraso en la infección inicial de las raíces y el movimiento del patógeno al tallo.

La aplicación de sílice representa una alternativa para reducir el uso de pesticidas en la producción de tomate, pues ha sido probado que en plantas monocotiledóneas y algunas dicotiledóneas, el sílice protege y fortalece el

tejido epidérmico, al inducir resistencia e inhibición del desarrollo de la enfermedad (Sakr, 2016). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización complementada con sílice sobre la resistencia de tomate a *F. oxysporum*.

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante el periodo de abril a julio del 2015, en un invernadero baticenital en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, campus Peñuela de la Universidad Veracruzana, ubicada en el municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, con clima Am (f) que corresponde a cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (88%) (García, 2004).

Se utilizó una cepa *F. oxysporum* aislada en medio PDA (papa-dextrosa-agar); proporcionada por el Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa, C.S.

Las fuentes de sílice fueron un Potencializador Solubilizador (PSD) y dos fertilizantes (Silifertidol Ultra y Fosfosilidol) cuyas características se muestran en el Cuadro 1. Se realizaron tres aplicaciones de cada una, que correspondieron a la dosis recomendada por el fabricante, una dosis 20% menor y otra 20% mayor de la recomendada (Cuadro 1).

Se utilizaron dos variedades de tomate tipo saladette, en las que, los productores de tomate de la región centro del estado de Veracruz han reportado la incidencia de esta enfermedad. La variedad CID F1 es de crecimiento indeterminado y de acuerdo con su ficha técnica, no es fuertemente atacada frente a infecciones de *Fusarium*. La variedad Pony Express es de crecimiento determinado y de acuerdo con el proveedor, presenta resistencia a *Fusarium*. Las semillas se sembraron en bandejas de poliestireno de sesenta cavidades, se utilizó como sustrato lombricomposta de pulpa de café con cachaza, mismo que presenta buena aireación, retención de agua y contenido de nutrientes.

La aplicación del fertilizante se realizó de acuerdo con las dosis que se muestran en el Cuadro 1. Al momento de la siembra se realizó la primera aplicación, posteriormente, se aplicó el fertilizante a los 16 y 32 días.

El trasplante se realizó a bolsas negras con fuelle perforadas 17 x 17 cm cuando las plántulas presentaron cuatro hojas y el tallo estuvo ligeramente lignificado, a los 36 días después de la siembra, como lo recomiendan Pérez y Castro (2011). Posteriormente, se efectuó una inoculación con el hongo, mediante la metodología citada por Murguía-González et al. (1993), donde usaron sacabocados para obtener un disco de agar con el inóculo, que se colocó en la base de la planta, sobre las raíces y se esperó a que se presentaran los primeros síntomas. Además, dos semanas después del trasplante se realizó una inoculación por aspersión a manera de simular la contaminación por riego. Se utilizó una suspensión a una concentración de 107 conidios, se aplicó con una jeringa sobre la base del tallo, un ml por planta.

Se evaluaron días a emergencia y, durante el crecimiento de las plantas de tomate, dos meses después del trasplante, altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, número de flores y número de frutos.

El diseño de los tratamientos fue factorial con tres factores: variedades (2), fuente de sílice (3) y dosis (3). Además, se incluyeron dos testigos, uno inoculado y otro sin inocular, con ello se tuvieron un total de veintidós tratamientos, con diez plantas como unidad experimental. El experimento se analizó con un ANOVA conjunto para los veintidós tratamientos, con el software SAS con $\alpha < 0,05$. Posteriormente, se analizaron las variedades por separado, ya que presentaron diferente tipo de crecimiento. Para ello, se utilizó un modelo lineal generalizado y pruebas de comparación múltiple de medias de Duncan con $\alpha < 0,05$, con el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (IBM® SPSS®) versión 22 (IBM Corp, 2013), pues García-Villalpando et al. (2001), mencionaron que dicha prueba presenta mayores ventajas que otras en cuanto a las comparaciones de medias. Para el efecto de interacción se utilizó el software estadístico Statistica y comparación múltiple de medias de Tukey con $\alpha < 0,05$.

Cuadro 1. Composición química de los fertilizantes y tratamientos en dosis aplicadas a plantas de tomate, en condiciones de invernadero en Peñuela, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, en el periodo de abril a julio del 2015.

Table 1. Fertilizer's Chemical composition and applied doses to tomato plants, under green house conditions at Peñuela, Amatlán de los Reyes Municipality, Veracruz, Mexico, from April to July 2015.

Formulación	Dosis (kg/ha)	Dosis (g/planta)	Composición química		
PSD	280	280	Carbón total: 4,3 %		
			Calcio total: 8,97 %		
	350	350	Hierro total: 0,533 %		
Magnesio total: 4,29 %					
420	420	Nitrógeno total: 0,1 %			
		Fósforo total: 0,81 %			
		Azufre total: 4,5 %			
Silifertidol Ultra	400	0,116	Cromo total: 0,0073 ppm		
			Cobalto total: 0003 ppm		
			Cobre total: 0,0157 ppm		
500*	0,145	0,174	Manganeso total: 0,167 ppm		
			Niquel total: 0,0762 ppm		
			Potasio total: 0,07 ppm		
600	0,174	0,174	Silicio total: 0,04 ppm		
			Zinc total: 0,01 ppm		
			Materia inerte 75,42 %		
Fosfosilidol	800	0,23	Calcio (CaO) 10-12%		
			1000*	0,29	Magnesio (MgO) 5-7%
					Silicio (SiO ₂) 42-45%
1200	0,349	0,349	Hierro (Fe) 3-5%		
			Zinc (ZnO) 4-6%		
			Potasio (K ₂ O) 2-2,5%		
			Fósforo 9,3 -9,6%		
			Calcio 10-13%		
			Magnesio 1,5-2%		
			Silicio 31-34%		
			Hierro 1,3-1,5%		
			Zinc 1,3-1,6%		
			Potasio 2-2,5%		

*Dosis recomendadas por los proveedores, parte superior dosis 20% menor a la recomendada, parte inferior, dosis 20% mayor a la recomendada / Recommended doses by suppliers, upper part shows a 20% lower dose than the recommended dose, lower part shows 20% higher dose than the recommended dose.

La severidad se estimó con una escala descriptiva arbitraria sobre necrosis en el tejido vascular de la base del tallo, donde: 1 fue 0% de daño, 2 hasta 33%, 3 de 34 a 75% y 4 hasta el 100%. La incidencia de la enfermedad se estimó de acuerdo con la fórmula propuesta por Andrades et al. (2009):

$$\% I = (\text{Número del material enfermo/población}) * 100$$

Los resultados de severidad e incidencia se analizaron con el software estadístico SAS y prueba de Tukey con $\alpha < 0,05$.

Resultados

Emergencia

Las dos variedades emergieron a partir del quinto día; aunque la variedad Cid F1 presentó el 53,63% de emergencia, mientras que Pony Express sólo presentó un 34,54%. Sin embargo, al décimo día el 100% de las semillas de la variedad Cid F1 habían emergido y para la variedad Pony Express el 98%.

Desarrollo de las plantas

Los resultados del análisis estadístico compuesto para altura y número de hojas de las plántulas desarrolladas en las bandejas de poliestireno, no indicaron diferencias significativas entre las dos variedades, ni entre dosis; pero si hubo diferencias estadísticas entre las fuentes utilizadas. Aunque no hubo una separación clara entre grupos, el tratamiento en el que se aplicó Silifertidol Ultra resultó ser el más alto y la aplicación de PSD resultó con los valores de desarrollo más bajos, incluso por debajo del testigo; ya que, tiene los contenidos más bajos de nitrógeno, fósforo y potasio. Un comportamiento similar se observó cuando se realizó el trasplante a macetas (Figura 1), con diferencia significativa para número de flores, siendo el mejor tratamiento en el que se aplicó la dosis superior de Silifertidol Ultra y los valores más altos para la variedad Pony Express. Para número de frutos, medidos a los 57 días, no se encontraron diferencias significativas para la variedad Pony Express y los mejores resultados fueron para la variedad Cid F1.

Al realizar un ANOVA para la variedad Cid F1, esta presentó mayor crecimiento en altura con la dosis recomendada de Fosfosilidol y el diámetro del tallo fue estadísticamente superior a los demás tratamientos con una dosis 20% mayor a la recomendada. Al aplicar Silifertidol Ultra, con la dosis 20% superior a la recomendada, el número de hojas resultó estadísticamente superior a los demás tratamientos y el número de flores fue superior con la dosis 20% inferior. Para número de frutos, la dosis 20% menor a la recomendada para Fosfosilidol resultó estadísticamente superior; aunque de manera general, la mejor respuesta fue para Silifertidol Ultra (Figura 1 E); sin embargo, debido a que en tomate el inicio de la floración y fructificación es muy irregular, el coeficiente de variación fue de 59,9 y 64,16, respectivamente. Esta variedad respondió a la aplicación de Fosfosilidol y Silifertidol Ultra.

Al realizar el ANOVA para la variedad Pony Express a los 57 ddt, la altura, número de hojas y diámetro de tallo fueron superiores en el tratamiento donde se aplicó la dosis máxima de Fosfosilidol. Por otro lado, aunque no hubo diferencia significativa, con la dosis superior de Silifertidol Ultra se observó el mayor número de flores. Para frutos, no se encontró diferencia significativa, con el mayor número de frutos para la dosis más alta de PSD, y al igual que la variedad Cid F1, presentó un alto coeficiente de variación para floración y número de frutos.

En cuanto a las interacciones, la de variedad:fuentes no generó diferencias significativas. Para altura de la planta, diámetro del tallo, número de flores y número de frutos, resultó significativa la interacción fuente:dosis, y para número de hojas variedad:dosis. La interacción variedad:fuentes:dosis fue significativa para altura, diámetro del tallo y número de flores. En general, el mejor efecto se observó para la dosis más alta de Silifertidol Ultra.

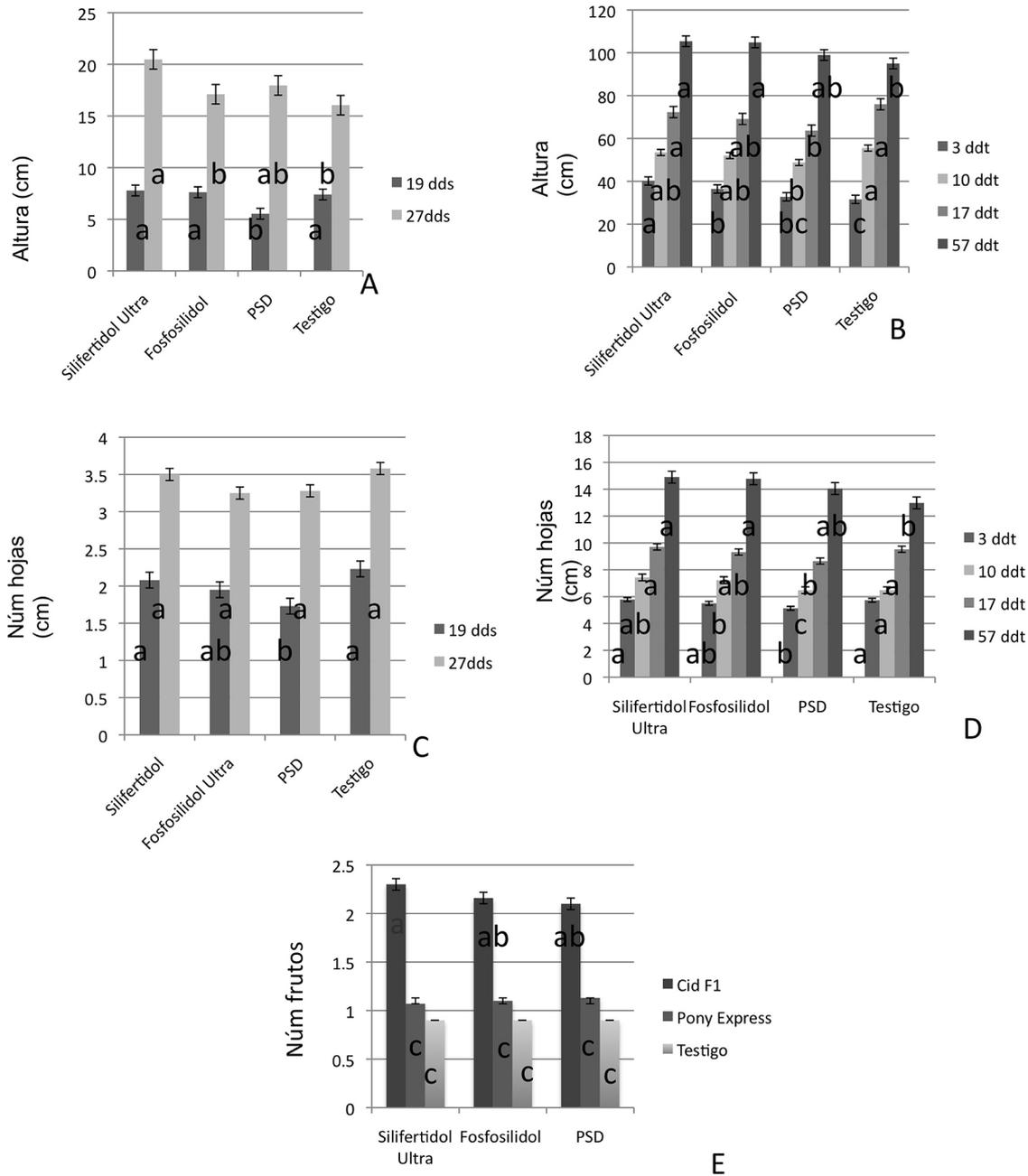


Figura 1. Altura y número de hojas en plantas de tomate con aplicación de fertilizantes complementados con sílice, en Peñuela, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, en el periodo de abril a julio del 2015. A. Altura de plántulas sembradas en bandejas de poliestireno. B. Altura de plantas sembradas en macetas. C. Número de hojas de plántulas sembradas en charolas de poliestireno. D. Número de hojas de plantas sembradas en macetas. E. Número de frutos a los 57 días después del trasplante a macetas.

Figure 1. Height and number of leaves in tomato plants with application of fertilizers supplemented with silice, in Peñuela, Amatlán de los Reyes Municipality, Veracruz, Mexico, between April to July 2015. A. Planted seedlings in polystyrene trays height . B. Height of planted plants in pots. C. Number of leaves found on seedlings planted in polystyrene trays. D. Number of leaves found on seedlings planted in pots. E. Number of fruits found on seedlings after 57 days of their transplantation into pots.

Incidencia y severidad

En cuanto a la incidencia en el tallo por inoculación en la raíz, a los 57 ddt, al disectar los tallos se observó el 12 y 12,75% de incidencia en las variedades Pony Express y Cid F1, respectivamente, sin diferencias significativas.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre variedades, al comparar los tratamientos, para la variedad Pony Express se encontró que las plantas que presentaron mayor porcentaje de incidencia (30%) fueron aquellas donde se aplicaron las dosis recomendadas de PSD y de Fosfosilidol; mientras que, en la variedad Cid F1 fue en el tratamiento donde se aplicó la dosis mínima de Silifertidol Ultra. En contraste, los tratamientos que no presentaron daño en la variedad Pony Express fueron la dosis mínima y máxima de PSD y las dosis mínima y máxima con Silifertidol Ultra. Por otro lado, en la variedad Cid F1, con las dosis máximas de PSD y recomendada de Silifertidol Ultra (Figura 2).

En cuanto a la severidad del daño ocasionado por *Fusarium*, al inocular por aspersión, se observaron diferencias significativas para variedades, la variedad Pony Express presentó menos daño, comparada con la variedad Cid F1.

Para la variedad Cid F1, estadísticamente el mejor tratamiento fue aquel donde se aplicó la dosis recomendada para PSD (Figura 3). Este fue el único tratamiento estadísticamente inferior para la severidad en dicha variedad. Mientras que, para la variedad Pony Express, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales al testigo sin inocular.

En el efecto de interacción variedad:fertilizante:dosis para la incidencia, la variedad Pony Express respondió mejor a la aplicación de fertilizantes adicionados con sílice. Para la variedad Cid F1, el tratamiento con la dosis de PSD recomendada por el fabricante, presentó menor incidencia comparado con dosis mayores y menores en un 20%. En contraste, la variedad Pony Express presentó menor severidad al ataque por *F. oxysporum*, con mejor respuesta en los tratamientos donde se empleó mayor cantidad de sílice y potasio.



Figura 2. Daño ocasionado por *F. oxysporum* en tallo de tomate. a: testigo sin inocular; b: variedad de tomate Pony Express con dosis mínima de Silifertidol Ultra; c: variedad Cid F1 con dosis mínima de Fosfosilidol, en Peñuela, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Julio, 2015.

Figure 2. *Fusarium oxysporum* damage on tomato stem. a: uninoculated control; b: Pony Express variety with minimum dose of Silifertidol Ultra; c: Cid F1 variety with minimum dose of Fosfosilidol, at Peñuela, Amatlán de los Reyes Municipality, Veracruz, Mexico. July, 2015.

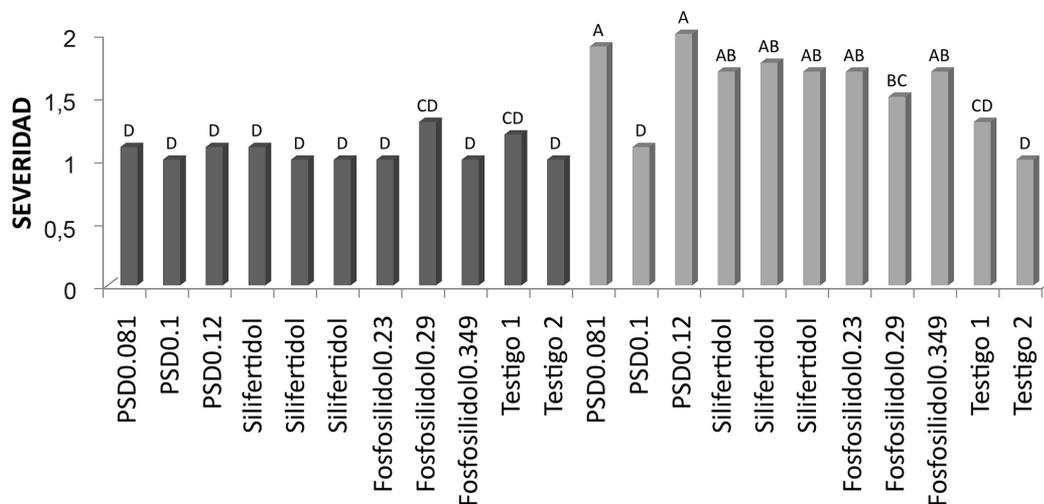


Figura 3. Severidad del ataque de *Fusarium oxysporum* en tallos de plantas de tomate a los 57 días después del trasplante a bolsas. En color oscuro la variedad Pony Express y color claro la variedad Cid F1. Peñuela, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. 2015.

Los números en los tratamientos indican las dosis aplicadas de los fertilizantes PSD (Potencializador Solubilizador), Silifertidol y Fosfosilidol. Barras con distintas letras indican diferencias significativas

Figure 3. Severity of *Fusarium oxysporum* attack on tomato plants stems 57 days after transplanting the plants into bags. The dark color show the variety Pony Express and the light color shows the variety Cid F1. Peñuela, Amatlán de los Reyes Municipality, Veracruz, México. 2015.

Numbers in each treatment show doses applied of PSD (Potentializer Solubilizer), Silifertidol and Fosfosilidol fertilizers. Bars with differet letter indicate significant differences

Discusión

Desarrollo de las plántulas

Las diferencias en la emergencia de las plántulas de las dos variedades utilizadas responden a sus características y hábito de crecimiento.

Con respecto al crecimiento observado a los 57 ddt, la respuesta a las fuentes de fertilizante utilizadas indicó la importancia, no sólo del contenido, sino del balance entre los elementos nutritivos que se aplicaron al cultivo. Aunque no hubo diferencia significativa entre variedades, las dos variedades respondieron de forma mayor a la aplicación de Silifertidol Ultra y Fosfosilidol. Esto se explica, debido a que estos fertilizantes, además de un alto contenido de sílice (42-45% y 31-34% respectivamente), tienen minerales primarios que interactúan de forma sinérgica en la nutrición de la planta. Pese a que el Silifertidol Ultra no contiene fósforo y nitrógeno, estos elementos son suministrados por la composta. De acuerdo con Raviv et al. (2004), los nutrimentos contenidos en la composta satisfacen los requerimientos del tomate en los dos primeros meses después del trasplante. Esto también explica el comportamiento del testigo similar a los mejores tratamientos. Estos resultados coincidieron con lo mencionado por Ma (2011), respecto a que el sílice aumenta la actividad fotosintética y mantiene las hojas erectas, además de incrementar la fuerza del tallo.

La vermicomposta posee características, físicas y químicas, que permiten el desarrollo de genotipos de tomate con atributos similares a la solución nutritiva Hoagland, diluida a 50% de su concentración normal, lo que indica

que, la combinación del sustrato y la aplicación de fertilizantes complementados con sílice ayudaron a un buen crecimiento de las plántulas (Moreno-Reséndez et al., 2005).

Es importante mencionar que, de acuerdo con Belanger et al. (1995) y Barker y Pilbeam (2007), el sílice beneficia la floración; además, Epstein (2001) y Faeuteux et al. (2005) reportaron beneficios de este elemento en el rendimiento. Esto explica la interacción observada para variedad:fuente:dosis; en donde la mejor respuesta para las variables de crecimiento, altura y diámetro de tallo, y número de flores fue la de la variedad Pony Express (variedad de crecimiento determinado), con la aplicación de Silifertidol Ultra (42-45% Si), en la dosis más alta.

Incidencia y severidad

El sílice afecta una serie de componentes de la resistencia de la planta que permiten retardar la incubación, reducir la expansión de las lesiones, reducir el tamaño y número de lesiones y la producción de conidias. Por esta razón, con las aplicaciones de Si se reduce la severidad y el progreso de las enfermedades (Epstein y Bloom, 2005). Esto explica la ausencia de diferencia entre tratamientos con respecto a la incidencia del ataque de *Fusarium* a los 57 ddt. Aunque las dos variedades mostraron menor daño al ataque de *Fusarium oxysporum* con la aplicación de PSD y Silifertidol Ultra, su respuesta fue diferente.

El menor daño al ataque de *Fusarium* lo presentó la variedad Pony Express, lo que indicó una mejor respuesta de esta variedad a la aplicación de sílice; esto concuerda con lo reportado por Bosland (1988) respecto a que, la diversidad genética influye en la patogenicidad del inóculo. La diferencia de respuesta de las dos variedades se puede explicar por la capacidad de absorción de cada una de ellas. La respuesta a las dosis más altas coincide con lo reportado por Aquino (2006), quien al aumentar la dosis de Si aplicado, observó disminución en el daño a plantas de tomate. Esto se explica porque el tomate se encuentra entre las plantas con mediana absorción de sílice (Guntzer et al., 2012); además, esta hortaliza, al igual que el pepino, absorbe el Si a través de la difusión pasiva (Mitani y Ma, 2005).

La baja incidencia pone de manifiesto los efectos benéficos del sílice sobre la resistencia de las plantas a enfermedades, que se han indicado por numerosos autores, un ejemplo es Ma (2011) quien menciona que si bien no se ha encontrado ninguna dicotiledónea que acumule Si, su presencia es un rasgo ventajoso para las plantas. De acuerdo con Exley (1998), el sílice, de manera adicional a su función de traslocación de agua y sales, actúa como una barrera mineral contra la invasión de patógenos. Además, Dann y Muir (2002) reportaron una relación directa entre la acumulación de Si en tejidos vegetales y la disminución del ataque de patógenos en la planta.

Conclusiones

Aunque el sílice no se ha reconocido como un elemento esencial en el desarrollo de las plantas, se ha reportado el aumento de actividad fotosintética con su aplicación, así se explica el mejor desarrollo en altura y número de hojas de las plantas, lo que se verá reflejado en la producción en campo; ya que, en número de flores y frutos también se observaron resultados positivos.

Las dos variedades estudiadas presentaron menor incidencia y severidad frente al ataque de *Fusarium* cuando se aplicó sílice en las dosis recomendadas a nivel comercial y en dosis mayores. Esto, probablemente debido al efecto del elemento en el aumento en el grosor de la cutícula de hojas y tallo.

Las dos variedades presentaron menor ataque de *F. oxysporum* con aplicaciones de sílice; principalmente, cuando se aplicó la dosis recomendada para PSD. La variedad Cid F1 respondió mejor a la aplicación Silifertidol Ultra durante el crecimiento vegetativo y disminuyó la incidencia del ataque de *Fusarium oxysporum*.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa, C.S., Semillas Harris Morán Mexicana, S.A. de C.V., SUMAGRO S. de R.L. de C.V. y a Dolomita Agrícola de México S.A. de C.V. por el material brindado.

Literatura citada

- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. 5th ed. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Almeida, G.D., D. Pratissoli, J.C. Zanuncio, V.B. Vicentini, A.M. Holtz, and J.E. Serrão. 2009. Calcium silicate and organic mineral fertilizer increase the resistance of tomato plants to *Frankliniella schultzei*. *Phytoparasitica* 37:225-230. doi:10.1007/s12600-009-0034-7
- Álvarez-Hernández, J.C. 2012. Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agron.* 61:117-125.
- Andrades, I., F. Yender, J. Labarca, D. Ulacio, C. Paredes, y Y. Marín. 2009. Evaluación de la antracnosis (*Colletotrichum* sp.) en guanábana (*Annona muricata* L.) tipo Gigante en el sector del estado de Zulia. *Rev. Cient. UDO Agríc.* 9:148-157.
- Aquino, F.C. 2006. Effect of sources of silicon on the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. Tesis MSc., Universidade Federal de Lavras, BRA.
- Barker, A., and D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis, Oxfordshire, GBR.
- Belanger, R.R., P.A. Bowen, D.L. Ehret, and J.G. Menzies. 1995. Soluble Silicon: Its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79:329-336. doi:10.1094/PD-79-0329
- Bosland, P.W. 1988. *Fusarium Oxysporum*, a pathogen of many plant species. In: G.S. Sidhu, editor, *Advances in plant pathology*, Academic Press Inc., CA, USA. p. 281-289.
- Castellanos, G., C. Jara, y G. Mosquera. 2013. Guías prácticas de laboratorio para el manejo de patógenos de fríjol. CIAT, COL. <http://ciat-library.ciat.cgiar.org:8080/jspui/handle/123456789/5628> (consultado jul. 2016).
- Dann, E.K., and S. Muir. 2002. Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and β 1,3-glucanase are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more Silicon. *Aust. Plant Pathol.* 31:9-13. doi:10.1071/AP01047
- Diogo, R.V.C., and K. Wydra. 2007. Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 70:120-129. doi:10.1016/j.pmpp.2007.07.008
- Epstein, E. 2001. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: L.E. Datnoff et al., editors, *Studies in plant science*. Elsevier Science, HOL. p. 1-15.
- Epstein, E., and A.J. Bloom. 2005. *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. 2nd ed. Sinauer Associates Inc., Sutherland, MA, USA.
- Exley, C. 1998. Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *J. Inorg. Biochem.* 69:139-144. doi:10.1016/S0162-0134(97)10010-1
- Fauteux, F., W. Rémus-Borel, J.G. Menzies, and R.R. Bélanger. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 249:1-6. doi:10.1016/j.femsle.2005.06.034

- Fortunato, A.A., W.L. da-Silva, and F.Á. Rodrigues. 2014. Phenylpropanoid pathway is potentiated by silicon in the roots of banana plants during the infection process of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology* 104:597-603. doi:10.1094/PHYTO-07-13-0203-R
- Garcés-de-Granada, E., M. Orozco-de-Amézquita, G.R. Bautista, y H. Valencia. 2001. *Fusarium oxysporum*: el hongo que nos falta conocer. *Acta Biol. Colomb.* 6:7-25.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros N° 6. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México, MEX.
- García-Villalpando, J.A., A. Castillo-Morales, M.E. Ramírez-Guzmán, G. Rendón-Sánchez, y M.U. Larqué-Saavedra. 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia* 35:79-86.
- Gómez-Camacho, R., M.N. Rodríguez-Mendoza, E. Cárdenas-Soriano, M. Sandoval-Villa, y M.T. Colinas-de-León. 2006. Fertilización foliar con silicio como alternativa contra la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* (Sheld) en tomate de cáscara. *Rev. Chapingo. Serie Hort.* 12:69-75.
- Gunes, A., A. Inal, E.G. Bagci, and D.J. Pilbeam. 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. *Plant Soil* 290:103-114. doi:10.1007/s11104-006-9137-9
- Guntzer, F., C. Keller, and J.D. Meunier. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32:201-213. doi:10.1007/s13593-011-0039-8
- Heine, G., G. Tikum, and W.J. Horst. 2007. The effect of silicon on the infection by and spread of *Pythium aphanidermatum* in single roots of tomato and bitter melon. *J. Exp. Bot.* 58:569-577. doi:10.1093/jxb/erl232
- Huang, C.H., P.D. Roberts, and L.E. Datnoff. 2011. Silicon suppresses *Fusarium* crown and root rot of tomato. *J. Phytopathol.* 159:546-554. doi:10.1111/j.1439-0434.2011.01803.x
- IBM Corp. 2013. IBM SPSS statistics for Windows, Version 22.0. IBM Corp, Armonk, NY, USA.
- Ma, J.F. 2011. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50:11-18. doi:10.1080/00380768.2004.10408447
- Mitani, N., and J.F. Ma. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Exp. Bot.* 56:1255-1261. doi:10.1093/jxb/eri121
- Moreno-Reséndez, A., M.T. Valdés-Perezgasga, y T. Zárate-López. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65:26-34. doi:10.4067/S0365-28072005000100003
- Murguía-González, J., J. Velázquez-Mendoza, K.S. Osada, y L.I. de Bauer. 1993. Efecto del abastecimiento de nitrato de calcio sobre la "Dormilona" del clavel (*Dianthus caryophyllus*) causada por *Fusarium culmorum*. *Agrociencia* 4:103-120.
- Pérez, G.M., y B.R. Castro. 2011. Jitomate en invernadero. Universidad Autónoma de Chapingo, MEX.
- Pozza, E.A., A.A. Pozza, and D.M. Botelho. 2015. Silicon in plant disease control. *Rev. Ceres* 62:323-331. doi:10.1590/0034-737X201562030013
- Rodríguez, V. 2013. Manual de Plagas y enfermedades en jitomate. CESAVEG (Comité Estatal De Sanidad Vegetal De Guanajuato, A. C.), MEX. http://www.cesaveg.org.mx/html/folleto/folleto_11/folleto_jitomate_11.pdf (consultado may. 2015).
- Raviv, M., S. Medina, A. Krasnovsky, and H. Ziadna. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Sci. Util.* 12:6-10. doi:10.1080/1065657X.2004.10702151

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial y estudio de logística internacional de tomate. SAGARPA, MEX. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/TOMATE.pdf (consultado ene. 2017).
- Sakr, N. 2016. The role of Silicon (Si) in increasing plant resistance against fungal diseases. *Hellenic Plant Prot. J.* 9:1-15. doi:10.1515/hppj-2016-0001
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Atlas Agroalimentario. SIAP, MEX. http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2014/Atlas-Agroalimentario-2014 (consultado mar. 2014).
- Urrestarazu, M., C. Nájera, y V.M. Gallegos. 2016. Efectos del silicio en cultivos hortícolas. *Nuestro Campo* 46:19-23.