

Efecto del selenito e inulina en la interacción *Capsicum annuum* L. - *Phytophthora capsici* en invernadero

Julio César López-Velázquez¹, Diego Eloyr Navarro-López¹, Joaquín Alejandro Qui-Zapata¹, Janet María León-Morales², David Ismael Saavedra-Loera³, Soledad García-Morales^{2*}

¹Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. AC Camino El Arenero 1227. El Bajío, Zapopan. Jalisco. México. CP 45019.

²CONACYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. AC Camino El Arenero 1227. El Bajío, Zapopan. Jalisco. México. CP 45019. e-mail: smorales@ciatej.mx

³Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña km 0.820. El Vergel, Gómez Palacio. Durango. México. CP 35120.

*Autora para correspondencia e-mail: smorales@ciatej.mx

RESUMEN

Capsicum annuum L. es un cultivo de gran importancia económica en México y es severamente afectado por la marchitez ocasionada por *Phytophthora capsici*. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del selenito e inulina sobre la incidencia de *Phytophthora capsici* y el crecimiento de las plantas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) en invernadero. Plántulas de 30 días después de la siembra se trataron dos veces con selenito (100 µM) (Se+PHC) o inulina (200 µM) (I+PHC) por aplicación a la base de las plantas: 10 días antes y al momento de la inoculación con *P. capsici* (PHC). Se incluyó un control PHC y un control absoluto sin tratar ni inocular. Después de dos semanas de tratamiento, las plántulas control permanecieron sin síntomas, mientras que las inoculadas con PHC, y las tratadas con selenito e inulina e inoculadas mostraron un índice de supervivencia de 0, 80 y 40%, respectivamente. La altura fue superior en las plántulas control. En las plantas tratadas con selenito e inoculadas se registró una masa fresca de plántula superior a los tratamientos PHC e I+PHC. La viabilidad de raíz fue similar en los tratamientos con selenito e inulina y disminuyó en las plántulas inoculadas con PHC. El selenito fue más efectivo que la inulina en reducir la incidencia de la enfermedad, incrementar la masa fresca y mantener la viabilidad del tejido vegetal. Los resultados sugieren el uso potencial del selenito y la inulina en manejo integral de *P. capsici*.

Palabras clave: incidencia, fructanos, protección de plantas, selenio, síntoma de marchitez

Effect of selenite and inulin on the *Capsicum annuum* L. - *Phytophthora capsici* interaction in greenhouse

ABSTRACT

Capsicum annuum L. is a crop of great economic importance in Mexico and is severely affected by the wilt caused by *Phytophthora capsici*. The objective of this work was to determine the effect of selenite and inulin on the incidence of *Phytophthora capsici* and the growth of serrano pepper plants (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse. Seedlings 30 days after sowing were treated twice with selenite (100 µM) (Se + PHC) or inulin (200 µM) (I + PHC) per application to the base of the plants: 10 days before and at the time of inoculation with *P. capsici* (PHC). A PHC control and an absolute control without treatment or inoculation were included. After two weeks of treatment, the control seedlings remained without symptoms, while those inoculated with PHC, and those treated with selenite and inulin and inoculated showed a survival rate of 0, 80 and 40%, respectively. The height was higher in the control seedlings. In plants treated with selenite and inoculated a seedling fresh mass was higher than in the PHC and I + PHC, treatments. The viability of the root was similar in the treatments with

selenite and inulin and decreased in the seedlings inoculated with PHC. Selenite was more effective than inulin in reducing the incidence of the disease, increasing the fresh mass and maintaining the viability of the plant tissue. The results suggest the potential use of selenite and inulin in the integral management of *P. capsici*.

Keywords: incidence, fructans, plant protection, selenium, symptoms of wilt

INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un elemento esencial para los animales y humanos. En bajas concentraciones desempeña una función biológica importante debido a sus propiedades antioxidantes como protección contra radicales libres, así como por su potencial en la defensa contra factores carcinogénicos (Hung *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2017).

En plantas, una adecuada fertilización con Se puede ayudar a mitigar el estrés oxidativo causado por diversos factores ambientales como estrés hídrico, salinidad y toxicidad por metales pesados (Feng *et al.*, 2013). Además, la presencia de Se en el tejido vegetal, en cantidades suficientes, puede proporcionar protección contra herbívoros (Pilon-Smits *et al.*, 2009); así como contra hongos (Wu *et al.*, 2014) y bacterias (González-Morales *et al.*, 2015) patógenos.

Aunque varios estudios indican que el Se es un elemento benéfico para las plantas (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Feng *et al.*, 2013; Hernández-Hernández *et al.*, 2018), su efecto en la interacción planta-patógeno ha sido escasamente analizado. Además, existen pocos estudios sobre el uso del Se para el control de enfermedades de las plantas (Companioni *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2016).

Uno de estos estudios fue el descrito por Wu *et al.* (2014), quienes evaluaron el efecto inhibitorio del Se contra *Penicillium expansum* y encontraron que el Se inhibió la germinación de las esporas, la elongación del tubo germinativo y la propagación del micelio de *P. expansum* en cultivo *in vitro*. Además, refirieron que el Se podría inducir la generación de especies reactivas de oxígeno intracelulares. Por otra parte, podría aumentar el contenido de metano dicarboxílico aldehído, la tasa de producción de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y anión superóxido (O²⁻) en las esporas de *P. expansum* expuestas al Se. Debido a que el Se redujo la actividad de la superóxido

dismutasa (SOD) y el contenido de glutatión (GSH), concluyeron que el Se dañaba el sistema celular de eliminación de especies reactivas de oxígeno (Wu *et al.*, 2014).

También se ha indicado que, en plantas, el Se reduce la severidad de enfermedades causadas por la bacteria *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm) (González-Morales *et al.*, 2015). En plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), se encontró que la aplicación de selenito de sodio incrementó la masa seca de la raíz, lo cual se relacionó con un posible aumento en la tolerancia a la enfermedad causada por la bacteria y se asoció a cambios relacionados con la fotosíntesis, como tasa fotosintética, conductancia, CO₂ intercelular y transpiración (González-Morales *et al.*, 2015).

Por su parte, Wu *et al.* (2016) indicaron que el Se tiene el potencial para controlar la pudrición del moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de tomate. El Se disminuyó la pudrición, lo cual puede estar directamente relacionado con el daño severo a la membrana plasmática de los conidios y la pérdida de materiales citoplasmáticos de las hifas. También mencionaron que el Se podría ser útil en el manejo integrado en la post-cosecha de frutos y hortalizas (Wu *et al.*, 2016).

El efecto del Se ha sido abordado en muchos aspectos de la biomedicina, la bioquímica y la ciencia ambiental (Winkel *et al.*, 2011). Además, se ha indicado que el Se podría ser utilizado para obtener plaguicidas químicos con mayor bioactividad y seguridad (Singh, 2012). La aplicación del Se, en bajas concentraciones, surge como una posible alternativa a los fungicidas sintéticos para el control de enfermedades de las plantas y reducir el potencial efecto peligroso sobre el medio ambiente y la salud humana (Wu *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2016).

Por otro lado, México es el segundo productor de chile verde, a nivel mundial, donde esta hortaliza ocupa un lugar

importante en el portafolio internacional agrícola del país. Del 2012 al 2017 su producción aumentó a una tasa promedio anual de 6.7% y el valor de sus exportaciones creció 166%, lo que generó un superávit comercial nacional mayor a \$700 millones de dólares y un volumen de producción de 3 296 875 toneladas en 2017 (SIAP, 2018). Sin embargo, este cultivo es afectado por diferentes hongos y oomicetos patógenos entre los que se encuentran *Rhizoctonia solani* Kühn, *Fusarium* spp. y *Phytophthora capsici*. Estos provocan enfermedades como la marchitez del chile o pudrición basal del tallo así como alteraciones metabólicas en el cultivo que limitan el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto (Velásquez-Valle *et al.*, 2001).

La marchitez del chile, o también denominada secadera, es ocasionada por un complejo de hongos fitopatógenos que incluye a *Fusarium* spp., *Phytophthora capsici*, *Verticillium* spp., *Macrophomina* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp. y *Sclerotium rolfsii*, que actúan de manera individual o en combinación (Velásquez-Valle *et al.*, 2001; González-Pérez *et al.*, 2004; Montero-Tavera *et al.*, 2013). De manera individual, *P. capsici* causa la enfermedad conocida como pudrición basal del tallo. A nivel mundial, estas enfermedades pueden causar pérdidas en la producción que van del 26 al 90%. Además, ha provocado disminución en la superficie de siembra y desplazamiento a nuevas áreas de cultivo (González-Pérez *et al.*, 2004).

Una de las estrategias con amplia distribución para el control de *P. capsici* es el uso de fungicidas químicos. Sin embargo, esta práctica representa un aumento en el costo de producción, puede causar toxicidad, daño al ambiente y genera resistencia del oomiceto (Uribe-Lorío *et al.*, 2014). Para evitar el impacto negativo provocado por las excesivas aplicaciones de productos químicos, se ha señalado que se requiere de un programa de manejo integral del hongo patógeno.

Como una alternativa para el manejo de la enfermedad, surge el uso de inductores de defensa también llamados elicitores. En este sentido, se han identificado muchos inductores de respuesta inmune que

muestran un gran potencial para desarrollar bioplaguicidas respetuosos con el medio ambiente y que podrían actuar como elicitores en plantas cultivadas (Yang *et al.*, 2009). Esta forma de respuesta inmune inducida generalmente se denomina resistencia sistémica adquirida o resistencia sistémica inducida (Kachroo y Robin, 2013). Fenotípicamente, las respuestas inmunes inducidas, a menudo, confieren una resistencia de amplio espectro contra una extensa gama de microorganismos patógenos no relacionados, lo que surge como una oportunidad para desarrollar nuevas estrategias de manejo de la enfermedad (Zhang *et al.*, 2014).

Recientemente, López-Velázquez *et al.* (2019) indicaron que la inulina de dahlia redujo la incidencia de *P. capsici* en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). La inulina es una cadena de polisacáridos compuesta principalmente por moléculas de fructosa. Es un fructano que se encuentra en muchas plantas como carbohidrato de almacenamiento, principalmente en plantas del género *Dahlia*, cebolla (*Allium cepa* L.), ajo (*Allium sativum* L.), achicoria (*Cichorium intybus* L.), alcachofa (*Cynara scolymus* L.) y plátano (*Musa × paradisiaca* L.). Los fructanos han sido utilizados principalmente como prebiótico debido a que no es un carbohidrato digerible y se encuentra principalmente como ingrediente en alimentos funcionales (Kosasih *et al.*, 2015). Sin embargo, su uso como inductor de defensa o elicitor para el control de microorganismos fitopatógenos, específicamente hongos, ha sido escasamente estudiado.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del selenito e inulina sobre la incidencia de *Phytophthora capsici* y el crecimiento de las plantas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) cv. Camino Real (Harris Moran Seed Company). Para la desinfección, las semillas se sumergieron en

hipoclorito de sodio (NaClO) comercial 0.2 M durante 3 minutos, posteriormente se enjuagaron con agua destilada y se colocaron para su germinación en charolas negras de polietileno flexible de 98 cavidades con sustrato estéril (en autoclave a 121 °C durante 20 min) compuesto de *Peat-moss*, arena y vermiculita en proporción 6:2:1 respectivamente.

La germinación de las semillas se llevó a cabo en un cuarto de cultivo a 24 °C y humedad relativa de 65%. Un fotoperiodo de 16 horas luz, donde la luz fue suministrada con lámparas fluorescentes de luz blanca (32 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). Las plántulas se mantuvieron en estas condiciones hasta 30 días después de la siembra. Cada tercer día, se realizaron riegos manuales con agua corriente.

Obtención del inóculo del patógeno

Se utilizó la cepa de *Phytophthora capsici* (CH11) de la colección de cepas del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ, Jalisco, México), aislada en 2011 por la Dra. Sylvia Fernández Pavía, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias Forestales de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. El oomiceto fue crecido en medio de cultivo V8 clarificado, durante 7 días a 26 °C bajo condiciones de oscuridad. Posteriormente, se cortaron fragmentos de 1 cm^2 de los cultivos crecidos y se suspendieron en agua destilada estéril por 10 días para la formación de esporangios a 24 °C en oscuridad. Transcurrido el tiempo, se colocaron a 4 °C por 2 h para la liberación de las zoosporas. La concentración de zoosporas se ajustó a 1×10^4 zoosporas ml^{-1} con agua destilada estéril mediante conteo en cámara de Neubauer con el empleo de un microscopio óptico (Olympus modelo BH-2, Tokyo, Japan a 20X).

Para preparar medio de cultivo V8 clarificado se utilizó jugo V8 (Campbell's) clarificado por filtración. Se mezclaron 50 ml de jugo clarificado, 0.5 g de carbonato de calcio (Sigma-Aldrich) y 15 g de agar (Sigma-Aldrich) en agua destilada. Esta mezcla fue colocada en agitación y aforada a 1 l con agua destilada. El medio de cultivo se esterilizó en autoclave a 121 °C durante 20 min.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en un control, plantas inoculadas con *P. capsici* (PHC), aplicación de selenito de sodio (Se+PHC) y plantas tratadas con inulina (I+PHC). Se establecieron 10 plantas por tratamiento y se consideró una planta como una repetición.

Se utilizó selenito de sodio (Na_2SeO_3) grado reactivo (Sigma-Aldrich) a una concentración final de 100 μM , disuelto en agua destilada.

Se preparó una solución de inulina de dahlia a concentración 200 μM (Sigma-Aldrich) disuelta en agua destilada. La solución fue esterilizada por filtración antes de su aplicación.

Condiciones experimentales

Se utilizaron plántulas de 30 días después de la siembra de las semillas, las cuales se trasplantaron a vasos de unicel (poliestireno expandido) de 500 ml de capacidad con sustrato estéril. Tres días después del trasplante se aplicaron 10 ml de selenito y 10 ml de inulina a la base de la planta, según el diseño experimental. Transcurridos 10 días después de la primera aplicación de la inulina y el selenito, se realizó una segunda aplicación e inmediatamente después las plántulas se inocularon con 10 ml de la suspensión de zoosporas de *P. capsici* (1×10^4 zoosporas ml^{-1}) (Wang *et al.*, 2013). Los tratamientos se distribuyeron en cuatro bloques, los cuales incluyeron un tratamiento con plantas control, uno con plantas inoculadas solamente con *P. capsici*, un tratamiento inoculado con *P. capsici* e inulina de dahlia y un tratamiento inoculado con *P. capsici* y selenito. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 10 repeticiones cada uno.

El experimento se realizó en un invernadero con cubierta plástica y una temperatura promedio de 25 °C durante el día y 16 °C por la noche. La humedad relativa promedio fue de 49% y un fotoperiodo de 12 horas de luz solar. Las plantas fueron regadas de manera manual, cada tercer día con agua corriente.

Al finalizar el experimento, dos semanas después de la inoculación, se hizo un registro

fotográfico y se midió la altura (cm) y se determinó la masa fresca (g) de las plántulas, además se determinó la incidencia de la enfermedad como el porcentaje (%) de plantas con presencia de síntomas con respecto al total de las plantas por tratamiento.

*Evaluación de daño a la raíz por la infección de *P. capsici**

Para la evaluación del daño a la raíz de las plántulas de Chile, se consideró la colonización radical del oomiceto y la viabilidad de la raíz. La colonización se evaluó por la presencia de micelio en el tejido radical visualizada por la tinción con azul de tripano (Phillips y Hayman, 1970). Se tomaron muestras de raíces, se decoloraron con hidróxido de potasio (Sigma-Aldrich) 1.7 M y peróxido de hidrógeno (Sigma-Aldrich) 0.5 M. Posteriormente fueron teñidas con azul de tripano (Sigma-Aldrich) 100 μ M por 2 h, el exceso de colorante fue eliminado con lavados de lactoglicerol y las muestras fueron observadas en microscopio óptico (Marca Olympus, modelo BH-2, Tokyo, Japan).

La viabilidad de las raíces, se evaluó a través de la reducción del cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) (Sigma-Aldrich) a 1,3,5-trifenilformazan (TTF) (Wang *et al.*, 2013). Se tomaron muestras de raíz al finalizar el experimento, se lavaron con agua destilada y se registró su masa fresca. Se colocaron en una solución de TTC 0.01 M disuelto en tampón de fosfato de sodio 0.01 M, pH 7, donde se mantuvieron por 1 hora a 37 °C. Transcurrido el tiempo, se detuvo la reacción mediante la adición de 1 ml de ácido sulfúrico 1 M. Después, el tejido fue macerado con acetato de etilo puro (Sigma-Aldrich) para recuperar el TTF y se aforó a 10 ml con el mismo disolvente. Posteriormente se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10uv Thermo spectronic a 485 nm. La viabilidad de las raíces se obtuvo mediante el cálculo de la intensidad de reducción del TCC ($\text{mg g}^{-1} \text{h}$) = absorbancia del TTC reducido / PF h, donde PF es la masa de la raíz fresca y h es el tiempo de incubación, siguiendo lo descrito por Ou *et al.* (2011).

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza utilizando los procedimientos del

paquete estadístico R studio, versión 3.5.2. Para la separación entre medias, se realizó un análisis mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 95%. La homogeneidad de varianza entre los tratamientos se comprobó mediante la prueba de Bartlett. La distribución normal de los datos se determinó con la prueba de Shapiro Wilk. Para los datos de la variable altura de planta se realizó una transformación logarítmica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dos semanas después de la inoculación de las plantas de Chile con *P. capsici*, se encontró que las plantas control estaban libres de síntomas. En tanto, las plantas inoculadas con *P. capsici* (PHC) mostraron la sintomatología de la pudrición basal del tallo del Chile, enfermedad causada por este hongo fitopatógeno. Se observó la distintiva lesión negra en los tallos, la marchitez de las hojas sin cambio de color y después caída prematura de hojas, lo que coincide con lo informado por Velásquez-Valle *et al.* (2001), Uribe-Lorío *et al.* (2014) y Pérez-Acevedo *et al.* (2017).

Además, las plantas del tratamiento PHC tuvieron un menor desarrollo de las raíces, menor viabilidad y colonización del oomiceto (Figura 1). Mientras, el 80% de las plantas con selenito (Se+PHC) no presentaron síntomas y el 40% de las plantas con inulina (I+PHC) tampoco tuvieron presencia de la enfermedad. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por López-Velázquez *et al.* (2019), quienes indicaron que el 40% de las plantas de Chile sobrevivieron con la aplicación de 200 μ M de inulina.

La aplicación de 100 μ M de Na_2SeO_3 redujo en un 80% la incidencia de la enfermedad. Aunque, la aplicación de inulina de dahlia también redujo la incidencia, el selenito resultó más efectivo en la protección de las plantas de Chile serrano contra *P. capsici*, comparado con esta. La inulina de dahlia, al ser un fructano, puede actuar como una molécula inductora (también conocida como elicitador) que es capaz de desencadenar una respuesta de defensa en la planta (Versluys *et al.*, 2017). Por ello con la aplicación exógena de este fructano se esperaba un mayor grado de defensa contra *P. capsici*. Sin embargo, fue superado por el selenito, en cuanto a una menor incidencia de la enfermedad (Figura 1, Figura 2).

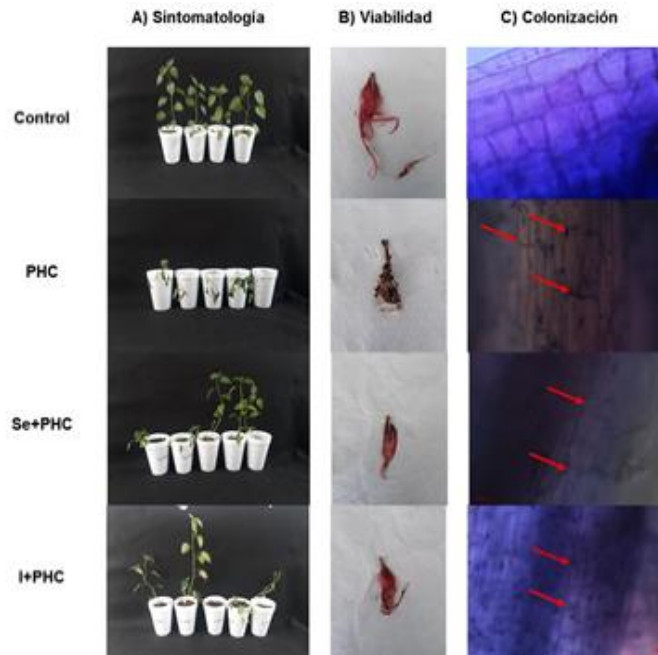


Figura 1. Evaluación del efecto de selenito e inulina sobre plantas de *Capsicum annuum* L. cv. Camino Real inoculadas con *Phytophthora capsici*. Sintomatología (A), prueba de viabilidad en raíces (B) y colonización de *P. capsici* (C) en raíces. Control: plantas no inoculadas ni tratadas, PHC: plantas inoculadas con *P. capsici*, Se+PHC: plantas tratadas con selenito 100 μM e inoculadas con *P. capsici*, I+PHC: plantas tratadas con inulina 200 μM e inoculadas con *P. capsici*. Las fechas indican la presencia de micelio de *P. capsici* en células de la raíz.

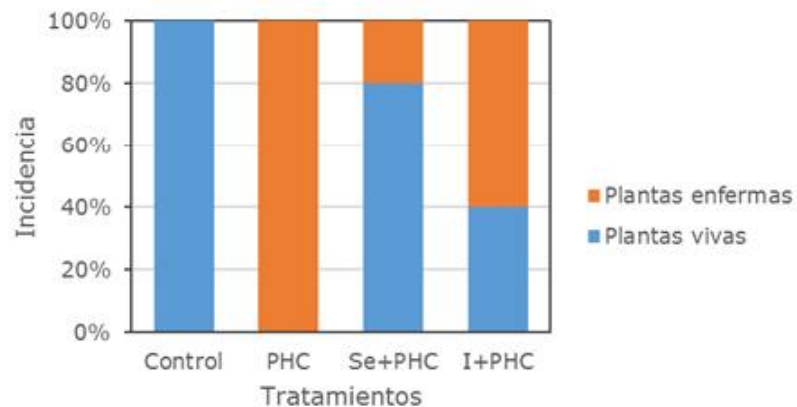


Figura 2. Incidencia de la marchitez del chile ocasionada por *Phytophthora capsici* en plantas de *Capsicum annuum* L. cv. Camino Real. Control: plantas no inoculadas ni tratadas, PHC: plantas inoculadas con *P. capsici*, Se+PHC: plantas tratadas con selenito 100 μM e inoculadas con *P. capsici*, I+PHC: plantas tratadas con inulina 200 μM e inoculadas con *P. capsici*. n = 10.

Además de la lesión negra en la base de los tallos de chile y la caída prematura de hojas, *P. capsici* puede infectar a las raíces, lo que conduce a la pudrición de la raíz y la muerte de la planta (Pérez-Acevedo *et al.*, 2017). En la

prueba de viabilidad de las raíces, se comprobó que las plantas con la aplicación de selenito e inulina de dahlia tuvieron una viabilidad similar que fue superior al tratamiento PHC e inferior a las plantas control (Figura 3).

Estos resultados pueden dar un indicio de la severidad de la enfermedad, entendiéndose como la proporción de tejido con síntomas de la enfermedad causada por *P. capsici*. En este caso, la prueba de viabilidad permite diferenciar las células vivas, por su actividad respiratoria, de aquellas células que fueron infectadas y pasaron por un proceso de pudrición y muerte de la raíz (Rodríguez *et al.*, 2008). Este fue el caso del tratamiento PHC (Figura 1, Figura 3). Resultados semejantes fueron obtenidos en plantas de tomate, donde se indicó que el selenito redujo

la severidad de la enfermedad causada por la bacteria *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* (González-Morales *et al.*, 2015).

En todos los tratamientos donde las plantas se inocularon con *P. capsici* estas mostraron menor altura que el control (Figura 4). En este sentido, el selenito y la inulina no lograron revertir el efecto del microorganismo patógeno sobre la altura de las plantas de chile serrano. Sin embargo, en estos tratamientos se observó una menor incidencia de la enfermedad y mayor viabilidad de las raíces.

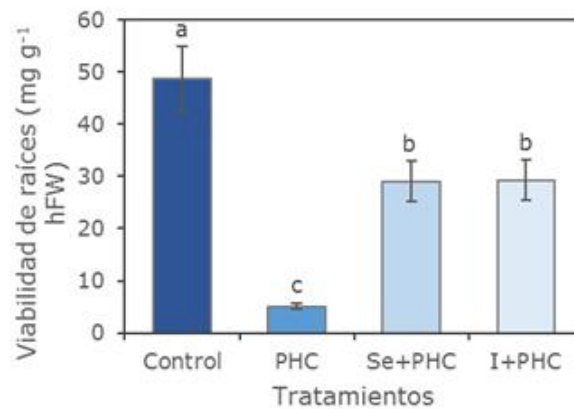


Figura 3. Prueba de viabilidad de las raíces de plantas de *Capsicum annuum* L. cv. Camino Real inoculadas con *Phytophthora capsici*. Control: plantas no inoculadas ni tratadas, PHC: plantas inoculadas con *P. capsici*, Se+PHC: plantas tratadas con selenito 100 μ M e inoculadas con *P. capsici*, I+PHC: plantas tratadas con inulina 200 μ M e inoculadas con *P. capsici*. \pm Desviación estándar (n=5). Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

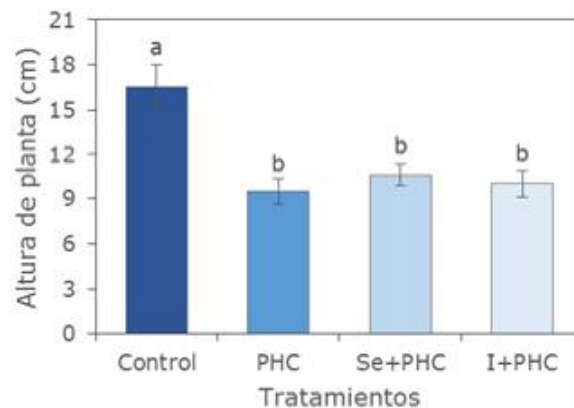


Figura 4. Altura de plantas de *Capsicum annuum* L. cv. Camino Real inoculadas con *Phytophthora capsici*. Control: plantas no inoculadas ni tratadas, PHC: plantas inoculadas con *P. capsici*, Se+PHC: plantas tratadas con selenito 100 μ M e inoculadas con *P. capsici*, I+PHC: plantas tratadas con inulina 200 μ M e inoculadas con *P. capsici*. \pm Desviación estándar (n=10). Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

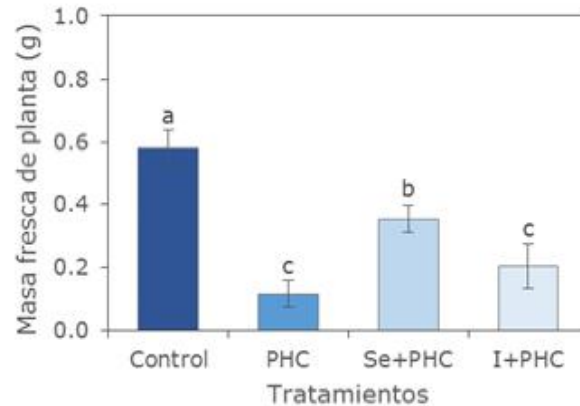


Figura 5. Masa fresca de plantas de *Capsicum annuum* L. cv. Camino Real inoculadas con *Phytophthora capsici*. Control: plantas no inoculadas ni tratadas, PHC: plantas inoculadas con *P. capsici*, Se+PHC: plantas tratadas con selenito 100 μ M e inoculadas con *P. capsici*, I+PHC: plantas tratadas con inulina 200 μ M e inoculadas con *P. capsici*. \pm Desviación estándar (n=10). Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

La aplicación de selenito incrementó 73% la masa fresca de la planta comparado con la inulina y tres veces más que el tratamiento PHC (Figura 5). Este resultado podría estar asociado con el efecto benéfico del selenio en las plantas, como ha sido indicado en otras investigaciones (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Feng *et al.*, 2013; Hernández-Hernández *et al.*, 2018).

Aunque se ha indicado que el selenio puede proporcionar protección contra microorganismos patógenos (Pilon-Smits *et al.*, 2009; White, 2017), no se ha abordado su potencial función como elicitador inorgánico que pueda inducir la activación de respuestas de defensa en plantas. Los estudios encontrados hacen referencia a la inhibición del crecimiento de *P. expansum* en cultivo *in vitro* (Wu *et al.*, 2014) y de *B. cinerea* en frutos de tomate (Wu *et al.*, 2016). Otros estudios refieren que el selenito reduce la incidencia y severidad de *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* (González-Morales *et al.*, 2015) y *Sclerospora graminicola* (Nandini *et al.*, 2017), en este último caso en forma de nanopartículas de Se. Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden, en parte, con los publicados por González-Morales *et al.* (2015) y Nandini *et al.* (2017), ya que también se encontró una reducción en la incidencia y severidad de *P. capsici* en plantas de chile serrano.

La producción de chile verde en México tiene gran importancia económica. Sin embargo, este cultivo es susceptible a hongos y

oomicetos que pueden causar pérdidas considerables. Teniendo en cuenta que el empleo de productos químicos para su control es costoso y con resultados adversos a largo plazo, el selenito y la inulina surgen como una alternativa potencial para incluirse en el manejo integral de dichas enfermedades.

Aunado a lo anterior, ensayos preliminares (resultados no mostrados) indican que el selenito no tiene efecto en la germinación de zoosporas y en el crecimiento del micelio de *P. capsici* en condiciones *in vitro*. Ello abre la posibilidad de que el selenito esté actuando como elicitador o inductor de defensa, activando respuestas de inmunidad en las plantas. Sin embargo, se requiere hacer más ensayos para dilucidar los posibles mecanismos que son activados por selenito.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el selenito y la inulina tienen potencial para ser usados en los programas para el manejo integral en el control de la pudrición basal del tallo y la marchitez del chile ocasionados por *P. capsici*, al reducir la incidencia de la enfermedad, favorecer la acumulación de masa fresca y mantener la viabilidad del tejido vegetal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades otorgadas por el Laboratorio Nacional

PlanTECC (Número de proyecto 293362) y a la alumna Barbara Yahaira Espino Paredes de la Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Durango, por su apoyo en el desarrollo del experimento.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Companioni B, Medrano J, Torres JA, Flores A, Rodríguez E, Benavides A (2012) Protective action of sodium selenite against Fusarium wilt in tomato: total protein contents, levels of phenolic compounds and changes in antioxidant potential. *Acta Horticulturae* 947: 321-328; doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.41

Feng R, Wei C, Tud S (2013) The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environ Exp Bot* 87: 58-68; doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.002

González-Morales S, Castillo-Godina R, Benavides-Mendoza A, Ríos-González LJ (2015) Tolerance response to *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato plants treated with selenium. *Acta Hort* 1069: 203-209

González-Pérez E, Yáñez-Morales MJ, Santiago-Santiago V, Montero-Pineda A (2004) Biodiversidad fungosa en la marchitez del chile y algunos factores involucrados de José Mazo El Verde, Puebla. *Agrociencia* 38: 653-661

Hernández-Hernández M, León-Morales J, López-Bibiano Y, Saldaña-Sánchez WD, García-Morales S (2018) Efecto comparativo del selenito y selenato en el crecimiento y contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Biotecnología y Sustentabilidad* 3(2): 26-37

Hung CY, Holliday BM, Kaur H, Yadav R, Kittur FS, Xie J (2012) Identification and characterization of selenate- and selenite-responsive genes in a Se-hyperaccumulator *Astragalus racemosus*. *Mol Biol Rep* 39: 7635-7646; doi: 10.1007/s11033-012-1598-8

Kachroo A, Robin GP (2013) Systemic signaling during plant defense. *Curr Opin Plant Biol* 16(4): 527-533; doi: 10.1016/j.pbi.2013.06.019

Kosasih W, Pudjaraharti S, Ratnaningrum D, Priatni S (2015) Preparation of Inulin from Dahlia Tubers. *Procedia Chemistry* 16: 190-194; doi: 10.1016/j.proche.2015.12.035

López-Velázquez JC, Rodríguez-Rodríguez R, Espinosa-Andrews H, Qui-Zapata JA, García-Morales S, Navarro-López DE, Luna-Bárceñas G, Vassallo-Brigneti EC, García-Carvajal ZY (2019) Gelatin-Chitosan-PVA hydrogels and their application in agriculture. *J Chem Technol Biotechnol* 0: 0-0; doi: 10.1002/jctb.5961

Montero-Tavera V, Guerrero-Aguilar BZ, Anaya-López JL, Martínez-Martínez TO, Guevara-Olvera L, González-Chavira MM (2013) Diversidad genética de aislados de *Rhizoctonia solani* (Kühn) de Chile y México. *Rev Mex Cienc Agríc* 4: 1043-1054

Nandini B, Hariprasad P, Prakash HS, Shetty HS, Geetha N (2017) Trichogenic-selenium nanoparticles enhance disease suppressive ability of *Trichoderma* against downy mildew disease caused by *Sclerospora graminicola* in pearl millet. *Sci Rep* 7: 2612; doi: 10.1038/s41598-017-02737-6

Ou LJ, Dai XZ, Zhang ZQ, Zou XX (2011) Responses of pepper to waterlogging stress. *Photosynthetica* 49: 339; doi: 10.1007/s11099-011-0043-x

Pérez-Acevedo CE, Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia JL, Perales-Segovia C, Enríquez del Valle R, Villegas-Aparicio Y (2017) Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Rev Mex Cienc Agríc* 8(2): 281-293

Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br Mycol Soc* 55(1): 158-61

Pilon-Smits EAH, Quinn CF, Tapken W, Malagoli M, Schiavon M (2009) Physiological functions of beneficial elements. *Curr Opin Plant Biol* 12: 267-274; doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.009

Rodríguez I, Adam G, Durán JM (2008) Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura* 912:836-842

- SIAP (2018) Atlas Agroalimentario 2012-2018. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/es/articulos/atlas-agroalimentario-2012-2018-la-transformacion-productiva-del-campo-mexicano?idiom=es>. Consultado 22/10/2018
- Singh PK (2012) Synthesis and fungicidal activity of novel 3-(substituted/unsubstituted phenylselenonyl)-1-ribose/deoxyribose-1 H-1, 2, 4-triazole. *J Agricul Food Chem* 60: 5813-5818; doi: 10.1021/jf300730f
- Uribe-Lorío L, Castro-Barquero L, Arauz-Caballini F, Henríquez-Henríquez C, Blanco-Meneses M (2014) pudrición basal causada por *Phytophthora capsici* en plantas de chile tratadas con vermicompost. *Agron Mesoam* 25: 243-253
- Velásquez-Valle R, Medina-Aguilar MM, Luna-Ruiz JJ (2001) Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz del chile (*Capsicum annuum* L.) en el norte-centro de México. *Rev Mex Fitopatol* 19: 175-181
- Versluys M, Tarkowski LP, Van den Ende W (2017) Fructans as DAMPs or MAMPs: Evolutionary prospects, cross-tolerance, and multistress resistance potential. *Front Plant Sci* 7: 2061; doi: 10.3389/fpls.2016.02061
- Wang J, Li D, Zhang Y, Zhan Q, He Y, Gong Z (2013) Defence responses of pepper (*Capsicum annuum* L.) infected with incompatible and compatible strains of *Phytophthora capsici*. *Eur J Plant Pathol* 136: 625-638; doi: 10.1007/s10658-013-0193-8
- White PJ (2017) The Genetics of Selenium Accumulation by Plants. En: Pilon-Smits EAH (eds). *Selenium in plants Plant Ecophysiology*, pp. 143-163, Springer International Publishing AG, Switzerland; doi: 10.1007/978-3-319-56249-0_9
- Winkel LHE, Johnson CA, Lenz M, Grundl T, Leupin OX, Amini M (2011) Environmental selenium research: from microscopic processes to global understanding. *Environ Sci Technol* 46: 571-579; doi: 10.1021/es203434d
- Wu ZL, Yin XB, Lin ZQ, Bañuelos GS, Yuan LX, Liu Y (2014) Inhibitory effect of selenium against *Penicillium expansum* and its possible mechanisms of action. *Curr Microbiol* 69: 192-201; doi: 10.1007/s00284-014-0573-0
- Wu Z, Yin X, Bañuelos GS, Lin ZQ, Zhu Z, Liu Y, Yuan L, Li M (2016) Effect of Selenium on Control of Post-harvest Gray Mold of Tomato Fruit and the Possible Mechanisms Involved. *Front Microbiol* 6: 1441; doi: 10.3389/fmicb.2015.01441
- Xiao Q, Li XL, Gao GF, Chen J, Liu X, Shen ZJ, Zhu XY, Zheng HL (2017) Nitric oxide enhances selenium concentration by promoting selenite uptake by rice roots. *J Plant Nutr Soil Sci* 180: 788-799; doi: 10.1002/jpln.201700013
- Yang Y, Zhang H, Li G, Li W, Wang X, Song F (2009) Ectopic expression of MgSM1, a Cerato-platanin family protein from *Magnaporthe grisea*, confers broad-spectrum disease resistance in Arabidopsis. *Plant Biotechnol J* 7(8): 763-777; doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00442.x
- Zhang H, Wu Q, Cao S, Zhao T, Chen L, Zhuang P, Zhou X, Gao Z (2014) A novel protein elicitor (SsCut) from *Sclerotinia sclerotiorum* induces multiple defense responses in plants. *Plant Mol Biol* 86(4-5): 495-511; doi: 10.1007/s11103-014-0244-3

Recibido: 18-10-2018

Aceptado: 05-01-2019

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> Está permitido su uso, distribución o reproducción citando la fuente original y autores.