

Silicio en el control de *Botrytis cinerea* en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en hidroponía

MORENO-GUERRERO, Disraeli Eron, SANTIAGO-ELENA, Eduardo, VILCHIS-ZIMUTA, Robert, MARTÍNEZ-CRUZ, Julieta, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris y LEYVA-MIR, Santos Gerardo

D. Moreno[`], E. Santiago[`], R. Vilchis[`], J. Martínez^{``}, L. Trejo^{``} y S. Leyva^{```}

[`]Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Preparatoria Agrícola. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230

^{``} Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946

^{```} Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Parasitología Agrícola. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230
eron151988@gmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-II.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017

Abstract

In this study, we evaluated the effect of foliar supply of SiO₂ and CaSiO₃ on the incidence of *Botrytis cinerea* in strawberry cultivation under greenhouse conditions. We used strawberry plants cv. Albion established in an open hydroponic system, using as tezontle substrate. The concentrations of Si supplied as foliar applications were 2.5 and 5.0 g L⁻¹. The foliar application was done with a manual knapsack sprayer, where SiO₂ or CaSiO₃ were diluted in water and were administered in a single day in four sprays with intervals of 6 h each. Four, eight and 12 days after the application of foliar treatments, the fruits were inoculated with a solution containing *Botrytis cinerea* at a concentration of 10⁵ conidiospores mL⁻¹. The incidence of gray mold in fruits was evaluated 15 days after the last inoculation of the fruits. The results obtained show that the foliar application of SiO₂ and CaSiO₃, were more effective in their higher doses for the control of *Botrytis cinerea*. It was observed that the use of Si compounds is a sustainable alternative that favors the management and control of *Botrytis cinerea* in strawberry.

2 Introducción

La fresa pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria*, crece de forma espontánea en algunas partes de Europa y América. Este especie es cultivada en casi todo el mundo principalmente en los países europeos, siendo considerados los mayores productores España e Italia. Antes del descubrimiento de América, en Europa se cultivaban especies de tamaño pequeño pero con excelente calidad. Con el descubrimiento de América, se encontraron especies nativas de mayor tamaño conocidas inicialmente como fresones, las cuales fueron llevados a Europa y por medio de hibridaciones se obtuvieron fresas de buen tamaño y de excelente calidad (Chaves y Wang, 2004).

El cultivo de fresa es de gran importancia, ya que según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en el año 2014 se produjeron 458,971 t a nivel nacional, además dicho cultivo es una importante fuente de generación de empleos y divisas, debido a que es un producto agrícola de exportación (SIAP, 2015). Durante el desarrollo y crecimiento del cultivo se presentan diversos patógenos, entre ellos el agente causal del moho gris, *Botrytis cinerea*, resultando uno de los más dañinos ya que afecta la apariencia externa de los frutos, limitando sus diferentes mercados objetivos (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

Adicionalmente, el fruto de fresa es altamente perecedero y susceptible a daños mecánicos, a la pérdida de agua, al deterioro fisiológico y microbiológico causado por agentes como bacterias, virus y hongos tal es el caso de *Botrytis cinerea* (moho gris) ya mencionado anteriormente, que ocasionan la pudrición del fruto y la consecuente pérdida de su valor económico (Contreras, 1998).

Los fungicidas químicos han sido tradicionalmente los medios primarios para el control de este patógeno, pero su aplicación continua ha generado el interés público por los problemas que ocasiona, como toxicidad, altos costos, reducción de exportaciones por presencia de residuos en producto de consumo y daños al medio ambiente, a la salud de los operarios y del consumidor (Chaves y Wang, 2004).

Por otra parte, los microorganismos fitopatógenos han generado resistencia a los ingredientes activos de algunos fungicidas sintéticos, como una respuesta a la presión de selección a las altas dosis y aplicaciones continuas sin previo estudio y cronograma de control, lo que ocasiona grandes pérdidas económicas (Contreras, 1998).

Recientemente las investigaciones se han enfocado en la evaluación de varias alternativas de control para reducir la dependencia de fungicidas sintéticos. El uso de silicio suministrado de forma foliar, es una alternativa viable y segura para el control de enfermedades fungosas como el moho gris (*Botrytis cinerea*).

En el contexto anterior, la presente investigación tuvo el objetivo de determinar el efecto del suministro de compuestos de silicio a través de las fuentes óxido de silicio (SiO_2) y silicato de calcio (CaSiO_3) en distintas dosis aplicadas vía foliar, en la incidencia de *Botrytis cinerea* en el cultivo de fresa.

2.1 Materiales y métodos

2.1.1 Ubicación

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el Campo Agrícola Experimental “Xaltepa” en Chapingo, Estado de México, localizado a 19° 27' 58" latitud norte, 98° 51' 14" longitud oeste y una altitud de 2250 m. De acuerdo con García (1988) el clima reportado para la estación Chapingo es Cb (w₀) (W) (i') g, el cual corresponde a los templados, siendo éste el más seco de los subhúmedos, con lluvias en verano el cual es largo y fresco, poca oscilación térmica, marcha tipo Ganges. La precipitación media anual es de 636.5 mm.

2.1.2 Material vegetal

Se utilizaron plantas de fresa cultivar Albion. Este cultivar se seleccionó porque en años recientes ha sido ampliamente utilizado en varias regiones freseras de México, en particular en la zona de Zamora, en el estado de Michoacán.

2.1.3 Material de inoculación (*Botrytis cinerea*)

El hongo patógeno estudiado se aisló de frutos momificados con los síntomas típicos de *Botrytis cinerea*, y fueron conservados en cámaras húmedas con 90 % de humedad relativa. Las muestras fueron recolectadas en el municipio de Irapuato, Guanajuato en el mes de octubre del 2014. Se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante 1 min, posteriormente se lavaron con agua destilada estéril, se secaron y se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo V-8 (300 mL de jugo V-8, 15 g de agar-agar y aforado con agua destilada a 1000 mL). Las cajas se incubaron a temperaturas promedio de 20 °C con intervalos de 12 h de luz blanca y 12 h de oscuridad, en cámara de crecimiento (SHEL-LAB Modelo LI15, Sheldong MFG. Inc. Cornelius, Or.), a 98 % de humedad relativa, con el objeto de estimular el crecimiento del patógeno. El reconocimiento de las colonias fungosas se realizó mediante el método de impronta.

2.1.4 Diseño de tratamientos

Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 2. Las aplicaciones foliares se hicieron con una mochila aspersora donde se diluyeron en agua SiO_2 o CaSiO_3 administrándose solo en un día, realizando cuatro aspersiones con intervalos de 6 h. Cuatro, 8 y 12 días posteriores a la aplicación de los tratamientos foliares, los frutos se inocularon con la solución conteniendo *Botrytis cinerea*.

Tabla 2 Tratamientos foliares de Si evaluados en esta investigación

Tratamiento	Descripción	Gramos de la fuente de Si por litro de solución foliar
1	Sin suministro foliar de Si (Testigo)	0.0000
2	Solución foliar con 2.5 g Si L ⁻¹ a partir de CaSiO ₃	5.3486
3	Solución foliar con 2.5 g Si L ⁻¹ a partir de SiO ₂	10.6972
4	Solución foliar con 5.0 g Si L ⁻¹ a partir de CaSiO ₃	10.3343
5	Solución foliar con 5.0 g Si L ⁻¹ a partir de SiO ₂	20.6686

2.1.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), donde la aplicación vía foliar de silicio se realizó formando cuatro bloques; en cada uno de ellos, se ensayó cada tratamiento tres veces (12 repeticiones por tratamiento). La unidad experimental fue una bolsa de polietileno negro de 30 x 30 cm conteniendo una planta de fresa y tezontle como sustrato.

2.1.6 Manejo del experimento

Se mantuvo una humedad relativa promedio de 80 % regando pasillos y plantas, esta condición de alta humedad relativa favorece la proliferación de la enfermedad. La nutrición de las plantas de fresa se realizó en base a la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984), la cual en forma completa está constituida de la manera siguiente (en mol_c m⁻³): 12 de NO₃⁻, 1 de H₂PO₄⁻, 7 de SO₄⁻², 7 K⁺, 9 de Ca⁺² y 4 de Mg⁺²; misma que se utilizó en un 50 % de su concentración los primeros 15 días después del trasplante (ddt), 75 % de su concentración de los 16 a los 60 ddt, y a 100 % de su concentración durante el tiempo restante del cultivo. El pH de la solución nutritiva osciló entre 5.5 y 5.8, ajustándose con H₂SO₄ concentrado. Las plantas se regaron un día a la semana con agua acidulada a pH 5.5, con el fin de evitar acumulación de sales dentro del contenedor.

2.1.7 Variables evaluadas

Se determinó la incidencia de la enfermedad 15 días posteriores a la inoculación, contando el número de frutos sanos y enfermos en cada unidad experimental. Con estos datos se estimó el porcentaje de incidencia de la enfermedad en cada unidad experimental.

2.1.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se consideró el promedio del porcentaje de incidencia en las plantas que conformaban cada unidad experimental. Algunos frutos inoculados se usaron para re aislar el patógeno una vez que aparecieron los síntomas. Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), usando el software SAS (SAS, 2011).

2.2 Resultados y discusión

El cultivar Albion presentó hojas aserradas, la producción de follaje fue abundante. Alrededor de 35 días después del trasplante, se observaron las flores primarias, el follaje se incrementó alrededor de los 55 días después del trasplante, y a los 65 días posteriores al trasplante ya se apreciaba una floración abundante. Durante los siguientes 50 días se desarrollaron los primeros frutos, aunque continuaron flujos de floraciones traslapadas. A partir de ese momento se tuvo fruto para cosecha, la cual se recolectó cada ocho días.

Al realizar el análisis de varianza con los datos obtenidos del porcentaje de infección en la evaluación (15 días después de la inoculación), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P=0.0004$). El resultado de la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$), permite identificar la formación de cinco grupos (Tabla 2.1).

El primer grupo está formado solo por el tratamiento testigo (sin adición de Si vía foliar), donde se presentó la mayor incidencia de *Botrytis cinerea* con el porcentaje de infección más alto de los cinco tratamientos evaluados (62.647 %; Tabla 2). Este resultado confirma que en el invernadero existían las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad, entre ellas una humedad relativa superior a 70 %.

En el segundo grupo se ubicó el tratamiento 2 (solución foliar con 2.5 g Si L⁻¹ a partir de CaSiO₃), el cual tuvo una baja eficacia en el control de la enfermedad *Botrytis cinerea* (48.29 %), lo anterior probablemente es debido a la baja concentración de Si suministrada a partir de silicato de calcio (Tabla 2.1).

El tercer grupo estuvo conformado por los tratamientos 3 y 4 (solución foliar con 2.5 g Si L⁻¹ a partir de SiO₂ y solución foliar con 5.0 g Si L⁻¹ a partir de CaSiO₃, respectivamente), como se observa en la Tabla 2.1.

El cuarto grupo integrado por los tratamientos 4 y 5 (solución foliar con 5.0 g Si L⁻¹ a partir de CaSiO₃ y solución foliar con 5.0 g Si L⁻¹ a partir de SiO₂, respectivamente). Estos tratamientos mostraron la mayor eficiencia en el control de *Botrytis cinerea* (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Porcentaje de infección por *Botrytis cinerea* en frutos de fresa provenientes de plantas tratadas vía foliar con diferentes fuentes y concentraciones de Si, en Chapingo, México

Tratamiento	Descripción	Porcentaje de infección	Porcentaje de efectividad biológica
1	Sin suministro foliar de Si (Testigo)	62.647 a	0.00
2	Solución foliar con 2.5 g Si L ⁻¹ a partir de CaSiO ₃	32.544 b	48.29
3	Solución foliar con 2.5 g Si L ⁻¹ a partir de SiO ₂	25.032 c	60.07
4	Solución foliar con 5.0 g Si L ⁻¹ a partir de CaSiO ₃	20.621 cd	66.98
5	Solución foliar con 5.0 g Si L ⁻¹ a partir de SiO ₂	17.151 d	72.42

Los datos representados en cada columna corresponden a la media de doce repeticiones. Letras distintas en cada columna en el porcentaje de infección, indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Entre fuentes de Si, se observa la mayor eficiencia del SiO₂, en comparación con CaSiO₃, en el control de *Botrytis cinerea* (Tabla 2.1).

Según Poovaiah *et al.* (1988), el efecto del silicio en la resistencia de las plantas a las plagas y enfermedades se atribuye tanto a la acumulación de silicio en el tejido epidérmico, como a la expresión de patogénesis inducida como respuesta de defensa ante el huésped, lo que puede explicar el resultado del mejor tratamiento en este trabajo.

Asimismo, se ha reportado que el silicio, además del moho gris (*Botrytis cinerea*), suprime otras enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*), y pudriciones causadas por rhizopus (*Rhizopus stolonifer* (Pritts, 1988).

Epstein y Bloom (2005) señalan que con la aplicación foliar de Si a plantas de fresa, a una concentración de 100 mg L^{-1} usando como fuente el silicato de potasio, se obtuvo una mayor concentración de P, Ca y Mg en planta y en frutos, así como la mayor concentración de N. Estos resultados indican los beneficios en la planta y en los frutos, de la aplicación de Si en el estatus nutrimental, además de su eficiencia en el control del moho gris.

En general, al Si se le pueden atribuir diversos efectos positivos en plantas superiores, entre los que destacan la promoción de la fotosíntesis, efectos en las propiedades de superficie en tejidos; el incremento en la resistencia a herbívoros, a la toxicidad por metales y a la salinidad; la reducción de estrés en casos de sequía y la protección a temperaturas extremas (Epstein y Bloom, 2005). Sin embargo, para lograr lo anterior, es necesario primero, que las plantas absorban al elemento y lo acumulen en sus tejidos.

Matichenkov (1990) sugiere que se requieren altas concentraciones de Si en los tejidos de las plantas para obtener sus beneficios, por lo que la investigación con dosis más altas de este elemento, podría arrojar resultados aún mejores a los aquí reportados, en lo que respecta a la respuesta de la planta a fitopatógenos y plagas.

2.3 Conclusiones

El mejor tratamiento para el control de *Botrytis cinerea* en fresa en esta investigación fue el 5 (solución foliar con 5.0 g Si L^{-1} a partir de SiO_2), por lo que, se convierte en una alternativa viable en el control de esta enfermedad. En investigaciones futuras, se puede considerar la evaluación de dosis más altas de Si, dado que su eficiencia en el control de *Botrytis cinerea* radica en su acumulación en tejidos vegetales.

2.4 Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades brindadas durante la conducción de esta investigación.

2.5 Referencias

- Chaves, N. & Wang, A. (2004). Combate al moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agronomía Costarricense*, 28(2), 73-85.
- Contreras, R. M. (1998). *Guía para el diagnóstico y control de enfermedades de plantas*. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. Vol. 2, 98 p.
- Epstein, E. & Bloom, A. J. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd ed. Sunderland, Mass.: Sinauer. 400 p.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4o edición. UNAM, México, D. F.
- Martínez-Bolaños, M., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Rodríguez-Alcázar, J., Martínez-Damián, M., Vaquera-Huerta, H., & Carillo Mendoza, O. (2008). Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 113-119.

- Matichenkov, V.V. (1990). *Amorphous oxide of silicon in soddy podzolic soil and its influence on plants*. Autoref. Diss. Cand., Moscow State University, Moscow.
- Poovaiah, B. W., Glen, G. M., & Reddy, A. S. N. (1988). Calcium and fruit softening. *Physiology and Biochemistry, Horticultural Reviews*, 10, 107-152.
- Pritts, M .P. (1998). Strawberry nutrition and nutrient deficiencies. En Mass, J. L. (Ed.). *Compendium of Strawberry Diseases* (pp. 11-14). USA: APS Press.
- SAS Institute Inc. (2011). *SAS/STAT Users Guide. Version 9.3*. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- SIAP. (2015). *Información de las Delegaciones de la SAGARPA*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Recuperado el 20| de julio de 2016, de <http://www.gob.mx/siap/>
- Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-649).The Netherlands.