

Potassium silicate as a fungicide enhancer against *Botrytis cinerea* in blackberry

Silicato de potasio como potencializador de fungicidas contra *Botrytis cinerea* en zarzamora

Daniel Nieto-Angel, ¹Programa de Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230, México; **José Terrones-Salgado***, Centro de Innovación Tecnológica en Agricultura Protegida, Decanato de Ciencias Biológicas, Facultad de Agronomía, ²Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, 21 sur No. 1103, CP. 72410, Puebla, Puebla, México; **Santo Ángel Ortega-Acosta**, ³Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala de la Independencia, C.P. 40020, Guerrero, México; ¹**Candelario Ortega-Acosta**, ¹**Daniel Téliz-Ortiz**; ²**Francisco Javier Sánchez-Ruiz**, Facultad de Ingeniería Ambiental; **Moisés Roberto Vallejo-Pérez**, CONACyT-Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Álvaro Obregón No. 64, Colonia Centro, San Luis Potosí, San Luis Potosí, CP 78000, México; ³**Francisco Palemón-Alberto**; ²**Luis Daniel Ortega-Martínez**, Facultad de Biotecnología.

*Corresponding author: jose.terrones@upaep.mx.

Received: February 21, 2022.

Accepted: April 17, 2022.

Nieto-Angel D, Terrones-Salgado J, Ortega-Acosta SA, Ortega-Acosta C, Téliz-Ortiz D, Sánchez-Ruiz FJ, Vallejo-Pérez MR, Palemón-Alberto F and Ortega-Martínez LD. 2022. Potassium silicate as a fungicide enhancer against *Botrytis cinerea* in blackberry. Mexican Journal of Phytopathology 40(2): 270-283.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2202-4>

Primera publicación DOI: 29 de Abril, 2022.

First DOI publication: April 29, 2022.

Abstract. Blackberry gray mold, induced by *Botrytis cinerea*, is a fruit disease that causes important economic losses. The present study evaluated nine fungicides belonging to different

Resumen. El moho gris de la zarzamora causado por *Botrytis cinerea*, es una enfermedad que afecta los frutos y causa pérdidas económicas importantes. En la presente investigación se evaluaron nueve fungicidas pertenecientes a diferentes grupos químicos, solos y en combinación con silicato de potasio utilizando la dosis recomendada en la etiqueta para el control de *B. cinerea* en campo. Se evaluó la incidencia y severidad de la enfermedad, además de grados Brix, concentración de silicio y rendimiento, el experimento se realizó dos veces. Los porcentajes de incidencia y severidad se transformaron a área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). El fungicida azoxystrobin combinado con silicato de potasio redujo la incidencia y severidad significativamente, presentando

chemical groups, alone and in combination with potassium silicate, using the dose recommended on the label for the control of *B. cinerea* in the field. The incidence and severity of the disease were evaluated, as well as the degrees Brix, silicon concentration, and yield. The experiment was carried out twice. Incidence and severity percentages were converted to area under the disease progress curve (AUDPC). Combined with potassium silicate, the fungicide azoxystrobin significantly reduced incidence and severity, showing the lowest percentages in the last evaluation of these variables. In the first repetition, the incidence and severity values were 4% (AUDPC = 1320) and 0.1% (AUDPC = 298.5), respectively. In the second, 3% (AUDPC = 1099) and 0.1% (AUDPC = 214.5) respectively. The concentration of soluble solids and fruit yield increased (12.4 and 13.6 t ha⁻¹ in the first and second repetition, respectively). The results indicate that potassium silicate enhances the effect of fungicides under field conditions and can thus be considered a management alternative against the gray mold disease in blackberries.

Key words: Silicon, AUDPC, incidence, severity, fungicides.

Blackberry (*Rubus* sp.) is a fruit crop grown in various regions throughout the world. However, blackberry production has suffered severe losses caused by diseases. Gray mold, caused by *Botrytis cinerea*, is considered the most important pre- and post-harvest disease (Li *et al.*, 2012) of blackberries in Mexico and has been commonly reported in different blackberry producing regions (Terrones *et al.*, 2019).

The initial symptoms caused by *B. cinerea* in blackberries are soft, light-brown areas. The infected tissue later dries and mummifies.

los menores porcentajes en la última evaluación de dichas variables. En la primera repetición, los valores de incidencia y severidad fueron de 4% (ABCPE= 1320) y 0.1% (ABCPE= 298.5), respectivamente, y en la segunda 3% (ABCPE=1099) y 0.1% (ABCPE=214.5), respectivamente. Por lo tanto, aumentó la concentración de sólidos solubles y rendimiento (12.4 y 13.6 t ha⁻¹ en la primera y segunda repetición, respectivamente). Con base en los resultados obtenidos, se determinó que el silicato de potasio potencializa el efecto de los fungicidas bajo condiciones de campo, por lo tanto, puede ser una alternativa de manejo contra el moho gris en zarzamora.

Palabras clave: Silicio, ABCPE, incidencia, severidad, fungicidas.

La zarzamora (*Rubus* sp.), es un cultivo que se produce en diversas regiones del mundo, no obstante, la producción de zarzamora ha registrado severas pérdidas ocasionadas por enfermedades. El moho gris, causado por *Botrytis cinerea* se considera la enfermedad pre y postcosecha más importante (Li *et al.*, 2012) de la zarzamora en México y se ha reportado comúnmente en diferentes regiones productoras de dicho cultivo (Terrones *et al.*, 2019).

Los síntomas iniciales causados por *B. cinerea* en frutos son áreas suaves de color marrón claro, posteriormente el tejido infectado se seca y se momifica; en esta etapa se desarrollan abundantes conidióforos y conidios del hongo que producen una apariencia de moho gris (Carisse *et al.*, 2015). El hongo produce infecciones quiescentes que permiten que la enfermedad se manifieste después de la cosecha (Calvo-Garrido *et al.*, 2014). Por lo que las acciones de manejo de la enfermedad deben iniciarse en precosecha (Fillinger y Walker, 2016; Kim *et al.*, 2016). El control químico es el principal

Abundant conidiophores and conidia develop at this stage, producing the appearance of gray mold (Carisse *et al.*, 2015). The fungus causes quiescent infections in which the disease manifests after harvest (Calvo-Garrido *et al.*, 2014). Therefore, disease management actions must begin before harvest (Fillinger and Walker, 2016; Kim *et al.*, 2016). Chemical control is the main control method against this disease. The use of fungicides against gray mold represents 8% of the global fungicide market (Fillinger and Walker, 2016). In Mexico, the products authorized for use in the control of blackberry gray mold, in compliance with US and European Union regulations, are fenhexamid, captan, pyrimethanil, fludioxonil, boscalid, azoxystrobin, and iprodione (ANEVERRIES, 2021). These fungicides, which are applied at intervals of 7-14 days, increase production costs and can exert selection pressure on resistant populations (Fernández-Ortuño, 2014).

The need to minimize the use of fungicides has led to the search for control alternatives, including Silicon (Si), which modifies plant cell wall properties (Iwasaki *et al.*, 2002). When reinforced with Si, this mechanical defense significantly reduces the damage caused by insects and pathogens, mitigating the intensity of various diseases (Rodríguez *et al.*, 2015). This method has reduced the incidence and severity of gray mold in cucumber (*Cucumis sativus*) and strawberry (*Fragaria* spp.) (Lopes *et al.*, 2014). Furthermore, the foliar application of Si prevents the penetration of phytopathogenic fungi by activating the natural defenses of plants, mainly the expression of resistance genes (Fauteux *et al.*, 2005).

Several studies have focused on the mitigation of plant diseases using Si. However, to date there no formal study has focused on the use of potassium silicate in blackberry plants to control gray mold. The present study aimed to evaluate the control

método de combate para la enfermedad y el uso de fungicidas contra el moho gris, representa el 8% del mercado mundial de fungicidas (Fillinger y Walker, 2016). En México, los productos de uso autorizado para el control del moho gris en zarzamora en cumplimiento con EE. UU. y con la Unión Europea son fenhexamid, captan, pirimethanil, fludioxonil, boscalid, azoxystrobin e iprodione (ANEVERRIES, 2021). Estos fungicidas se aplican a intervalos de 7-14 días, incrementan los costos de producción y pueden ejercer presión de selección de poblaciones resistentes (Fernández-Ortuño, 2014).

La necesidad de minimizar el uso de fungicidas conlleva a la búsqueda de alternativas de control, como el uso del Silicio (Si) el cual modifica las propiedades de la pared celular de la planta (Iwasaki *et al.*, 2002); esta defensa mecánica en las plantas reforzada con Si, reduce significativamente el daño causado por insectos y patógenos disminuyendo la intensidad de diversas enfermedades (Rodríguez *et al.*, 2015), y ha reducido la incidencia y severidad del moho gris en pepino (*Cucumis sativus*) y fresa (*Fragaria* spp.) (Lopes *et al.*, 2014). Además, la aplicación foliar de Si, inhibe la penetración de hongos fitopatógenos, activando las defensas naturales de plantas, principalmente la expresión de genes de resistencia (Fauteux *et al.*, 2005).

Existen diversos estudios sobre la disminución de enfermedades en plantas con Si, sin embargo, a la fecha no existe un reporte formal sobre la aplicación de silicato de potasio en plantas de zarzamora para el control del moho gris. Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el control de dicha enfermedad en campo utilizando nueve fungicidas de diferentes grupos químicos, solos y en combinación con silicato de potasio para potencializar su efecto contra *B. cinerea*.

En una parcela experimental con plantas de zarzamora cv. Tupi en etapa de madures fisiológica, se evaluaron nueve fungicidas de diferentes grupos

of this disease in the field using nine fungicides from different chemical groups, alone and in combination with potassium silicate to potentiate their effect against *B. cinerea*.

Nine fungicides from different chemical groups were evaluated in an experimental plot with blackberry plants cv. Tupi in the physiological maturity stage: fluazinam (SHOGUN 500[®], Syngenta) at a dose of 1 L ha⁻¹; fenhexamid (ELEVAT[®], UPL) at 1.5 kg ha⁻¹; thiophanate-methyl (CERCOBIN M[®], Basf) at 1 kg ha⁻¹; captan (CAPTAN 50 WP[®], Adama) at 2.5 kg ha⁻¹; pyrimethanil (SCALA 400 SC[®], Bayer CropScience) at 2 L ha⁻¹; cyprodinil + fludioxonil (SWITCH[®] 62.5 WG, Syngenta) at 1 kg ha⁻¹; boscalid (CANTUS[®], Basf) at 1 kg ha⁻¹; azoxystrobin (IMPALA[®] 25 SC, Adama) at 0.75 L ha⁻¹; iprodione (ROVRAL[®] 50 PH, FMC) at 1 kg ha⁻¹; control solution (sterile distilled water). These treatments were applied alone and in combination with potassium silicate (SUPA SILICA[®], Agrisolver) at 0.5 L ha⁻¹. The plot where the study was carried out had a history of presence of gray mold. An isolate of *Botrytis cinerea* (GenBank access number MG838557) had been previously collected and morphologically and molecularly characterized (Terrones *et al.*, 2019). The fungicides, alone and in combination with potassium silicate, were applied at intervals of 15 days, starting in October 2019 and the second repetition was carried out in June 2020 until the end of the harvest in both cases. A total of six applications were made on each repetition using a motorized sprinkler (MS072H, Maruyama[®]) with a hollow cone nozzle previously calibrated to deliver a volume of 800 L ha⁻¹.

An evaluation was carried out prior to the applications of the treatments, and six evaluations were carried out afterward, five days after each application. The fungicide applications were made directly in the field at the time of harvest

químicos: fluazinam (SHOGUN 500[®], Syngenta) a dosis de 1 L ha⁻¹, fenhexamid (ELEVAT[®], UPL) a 1.5 kg ha⁻¹, tiofanato-metil (CERCOBIN M[®], Basf) a 1 kg ha⁻¹, captan (CAPTAN 50 WP[®], Adama) a 2.5 kg ha⁻¹, pyrimethanil (SCALA 400 SC[®], Bayer CropScience) a 2 L ha⁻¹, cyprodinil + fludioxonil (SWITCH[®] 62.5 WG, Syngenta) a 1 kg ha⁻¹, boscalid (CANTUS[®], Basf) a 1 kg ha⁻¹, azoxystrobin (IMPALA[®] 25 SC, Adama) a 0.75 L ha⁻¹, iprodione (ROVRAL[®] 50 PH, FMC) a 1 kg ha⁻¹, además de un testigo (agua destilada estéril), solos y en combinación con silicato de potasio (SUPA SILICA[®], Agrisolver) a 0.5 L ha⁻¹. La parcela donde se realizó el estudio tenía antecedentes de la presencia de moho gris, ya que previamente se colectó y caracterizó morfológica y molecularmente un aislado de *Botrytis cinerea* (número de acceso en el GenBank MG838557) (Terrones *et al.*, 2019). Los fungicidas, solos y en combinación con silicato de potasio, se aplicaron a intervalos de 15 días, iniciando en el mes de octubre (2019) y la segunda repetición el mes de junio (2020) hasta llegar al final de la cosecha en ambos casos, realizando un total de seis aplicaciones en cada repetición, con una aspersora motorizada modelo MS072H (Maruyama[®]) con boquilla de cono hueco y previamente calibrada a un volumen de aplicación 800 L ha⁻¹.

Se realizó una evaluación previa a las aplicaciones de los tratamientos, posteriormente se realizaron seis evaluaciones, cinco días después de cada aplicación de tratamientos, estas se realizaron directamente en campo al momento de la cosecha, donde se encontraron síntomas de moho gris con diferentes porcentajes de incidencia y severidad. El porcentaje de incidencia se calculó contabilizando el número de frutos con síntomas de la enfermedad y/o signos del patógeno con relación a 100 frutos elegidos al azar por cada planta evaluada, por unidad experimental (tratamiento). La severidad de la enfermedad se determinó en los mismos frutos

when gray mold symptoms were found with different percentages of incidence and severity. The percentage of incidence was calculated by counting the number of fruits with symptoms of the disease and/or signs of the pathogen among 100 fruits chosen at random for each plant evaluated per experimental unit (treatment). The severity of the disease was determined in the same fruits ($n=100$) using a diagrammatic scale adjusted by Horsfall and Barratt and generated with 2LOG (Osada-Velázquez and Mora-Aguilera, 1997), with the following classes 0=0; 1= 0.1–3.2–7.8; 2= 7.9–25.4–48; 3= 48.1–63.62–83, 4= 83.1–94.58–100. This scale was used to determine the ranges and midpoint of disease severity (Tovar-Soto *et al.*, 2002). The percentages of incidence and severity were converted to area under the disease progress curve values (AUCPE) with the SAS program version 9.3.

Six harvests were carried out (every 15 days, respecting the safety interval for fungicides). The fruits were weighed on an analytical balance (OHAUS®, USA). The total yield was calculated by adding all the harvested fruits from 14 plants in each repetition and extrapolating the yield per hectare later. Total soluble solids (degrees Brix) were determined at each harvest in randomly selected fruits using a digital palette refractometer PR-101 α (ATAGO, Japan). Twenty measurements were made for each repetition, including asymptomatic and symptomatic fruits. The silicon content in the foliage was also evaluated at the end of the experiment by collecting 20 g of foliage from blackberry plants and subjecting the material to wet digestion with perchloric and nitric acid (Alcantar and Sandoval, 1999). The samples obtained from the digestion were analyzed using plasma induction atomic emission spectroscopy (ICP-VARIAN 725-ES).

The experiment was a 10 \times 2 factorial design with 20 treatments, four replications and 80

($n=100$) con el uso de una escala diagramática bajo el principio de Horsfall y Barratt con las clases 0=0; 1= 0.1–3.2–7.8; 2= 7.9–25.4–48; 3= 48.1–63.62–83, 4= 83.1–94.58–100 y generada con 2LOG (Osada-Velázquez y Mora-Aguilera, 1997) para obtener los rangos de severidad y el punto medio (Tovar-Soto *et al.*, 2002). Los porcentajes de incidencia y severidad se transformaron a valores de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con el programa SAS versión 9.3.

Se realizaron seis cosechas (cada 15 días, respetando el intervalo de seguridad de los fungicidas), los frutos se pesaron en una balanza analítica (OHAUS®, EE. UU.), el rendimiento total se obtuvo mediante la suma de todas las cosechas de 14 plantas establecidas en cada repetición y posteriormente se extrapolo el rendimiento por hectárea. En cada cosecha se determinaron sólidos solubles totales (grados Brix) con un refractómetro digital tipo paleta PR-101 α (ATAGO, Japón) en frutos elegidos al azar. Se realizaron 20 mediciones en cada repetición incluyendo frutos asintomáticos y sintomáticos, también se evaluó el contenido de silicio en el follaje al finalizar el experimento, obteniendo 20 g de follaje de la planta de zarzamora para realizar una digestión húmeda a partir de ácido perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). Las muestras obtenidas a partir de la digestión se analizaron en un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-VARIAN 725-ES).

El experimento se condujo bajo un diseño factorial, 10 \times 2 con 20 tratamientos, cuatro repeticiones y 80 unidades experimentales, cada una consistió de una parcela de 7 m de largo por 2 m de ancho con 14 plantas de zarzamora distribuidas en hilera. Se realizaron dos repeticiones del experimento, la primera, fue en los meses de octubre a enero (2019-2020) y la segunda repetición en los meses de junio a septiembre (2020). Los datos de las variables se sometieron a análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas e independencia de los datos, así

experimental units, each one consisting of a plot 7 meters long and 2 m wide with 14 blackberry plants distributed along one row. Two repetitions of the experiment were carried out. The first from October to January (2019-2020) and the second one from June to September (2020). The data were subjected to analysis of normality and homogeneity of variances, data independence, analysis of variance and comparison of means (LSD, $p \leq 0.05$). All analyses were carried out using the SAS program version 9.3.

In the evaluation of incidence, an interaction between the factors was identified (G.L.= 9, $F= 238.09$, $p<0.0001$) in the first repetition of the experiment. In addition, there were significant differences ($F= 540.5$, $p<0.0001$) in the AUCPE. The treatment based on azoxystrobin + potassium silicate was significantly different from the rest of the treatments, presenting the lowest AUCPE value (1320), as well as the lowest incidence percentages (Table 1). Interactions between the factors were also identified (G.L. = 9, $F= 289.04$, $p<0.0001$) in the second repetition, as well as significant differences ($F= 376.27$, $p<0.0001$) in the AUCPE. The results showed again that the combination of azoxystrobin + potassium silicate was significantly different from the rest of the treatments, presenting the lowest AUCPE value (1099) and the lowest percentages of incidence of the disease (Table 1; Figure 1).

The evaluation of disease severity showed an interaction between the factors (G.L. = 9, $F= 434.05$, $p<0.0001$), as well as significant differences ($F= 502.96$, $p<0.0001$) in the AUCPE during the first repetition of the experiment. The treatments based on iprodione, iprodione + potassium silicate and azoxystrobin + potassium silicate were significantly different from the rest of the treatments, with AUCPE values of 355.8, 338.2 and 298.5, respectively. These treatments

como un análisis de varianza y comparación de medias (LSD, $p \leq 0.05$), utilizando el programa SAS versión 9.3.

En la evaluación de la incidencia, en la primera repetición del experimento, se identificó interacción entre los factores (G.L.= 9, $F= 238.09$, $p<0.0001$), además hubo diferencias significativas ($F= 540.5$, $p<0.0001$) en el ABCPE. El tratamiento a base de azoxystrobin + silicato de potasio fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, presentando el menor valor de ABCPE (1320), además de presentar los menores porcentajes de incidencia en las evaluaciones realizadas (Cuadro 1). Respecto a la segunda repetición, se identificaron interacciones entre los factores (G.L.= 9, $F= 289.04$, $p<0.0001$) y se observaron diferencias significativas ($F= 376.27$, $p<0.0001$) en el ABCPE, encontrando nuevamente que la combinación de azoxystrobin + silicato de potasio fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, donde se obtuvo el menor valor (1099), así mismo se observaron los menores porcentajes de incidencia de la enfermedad (Cuadro 1; Figura 1).

En cuanto a la evaluación de la severidad, se observó interacción entre los factores (G.L. = 9, $F= 434.05$, $p<0.0001$), así como diferencias significativas ($F= 502.96$, $p<0.0001$) en el ABCPE durante la primera repetición del experimento. Los tratamientos a base de iprodione, iprodione + silicato de potasio y azoxystrobin + silicato de potasio fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos, con valores de ABCPE de 355.8, 338.2 y 298.5, respectivamente. Además, se presentaron los porcentajes más bajos de severidad de la enfermedad (Cuadro 1). En la segunda repetición, hubo interacciones entre los factores (G.L. = 9, $F= 317.02$, $p<0.0001$), además de observarse diferencias significativas ($F= 373.06$, $p<0.0001$) en el ABCPE y las plantas que se trataron con la combinación de azoxystrobin + silicato de potasio

Table 1. Effect of potassium silicate on the control of blackberry gray mold disease caused by *Botrytis cinerea* under field conditions during two evaluation cycles.

Cuadro 1. Efecto del Silicato de potasio para el control del moho gris en zarzamora causado por *Botrytis cinerea* en condiciones de campo, durante dos ciclos de evaluación

Tratamiento	Primera repetición (octubre de 2019 a enero de 2020)						Segunda repetición (mayo a agosto de 2020)									
	% Incidencia		% severidad		° Brix		Conc. Silicio	Rendimiento ^x	% Incidencia		% severidad		° Brix		Conc. Silicio	Rendimiento ^x
	E7 ^z	ABCPE ^y	E7 ^z	ABCPE ^y	Sanas	Enfer.			E7 ^z	ABCPE ^y	E7 ^z	ABCPE ^y	Sanas	Enfer.		
Fluazinam	39	5070b ^w	2.2	942.9b	8.99jz	6.51jkl	21.11kl	6.74l	38	4770bz	1.9	834.5b	9.01i	6.53ghi	20.59k	6.66m
Fenhexamid	33	3968cd	1.6	669.5e	9.14i	7.08c	20.49l	7.97k	29	3593c	1.3	594.7e	9.14h	7.06d	21.67k	8.12l
Tiofanato-metil	25	3188gh	1	636.5e	9.17hi	7.07cd	21.15kl	9.43fgh	23	2940fg	1	575.2e	9.16gh	7.05d	21.80k	9.35i
Captan	31	4110c	1.4	951.7b	9.21fg	6.49kl	21.86jk	8.01k	27	3585c	1.3	853.9b	9.21fg	6.46i	23.14ij	8.02l
Pyrimetanil	28	3739e	1.8	925.2bc	9.19gh	6.59hi	21.76jk	8.55ij	25	3345de	1.3	822.8bc	9.22fg	6.60g	22.78j	8.65k
Fludioxonil	25	3608e	1.4	798.8d	9.20fgh	6.59hi	21.79jk	8.76i	22	3169e	1	811.3bc	9.20fgh	6.62fg	23.10ij	8.80j
Boscalid	21	3034h	0.7	517.4g	9.24ef	7.00d	22.91i	9.61ef	20	2629h	0.6	455.6gh	9.29de	7.02d	23.75i	9.91g
Azoxistrobin	29	2029j	2.4	370.3hi	9.86b	7.45a	22.26ij	11.30c	28	1905k	2.4	329.9ij	9.99b	7.50 ^a	23.59ij	11.42d
Iprodiona	10	1811k	0.3	355.8i	9.84b	7.34b	23.08i	11.54c	9	1631l	0.3	315.5j	10.01b	7.33b	24.01i	11.91c
Fluazinam + Si	30	3908d	1.2	772.9d	9.13i	6.70g	25.81gh	8.35j	22	3398d	0.9	688.4d	9.19fgh	6.70f	28.02g	8.66k
Fenhexamid + Si	23	3178gh	0.8	533.4fg	9.24ef	6.91e	26.32g	9.48efg	15	2779gh	0.6	488.1fg	9.31cd	6.97d	28.39fg	9.85g
Tiofanato-metil + Si	20	2771i	0.6	601.1ef	9.27de	6.77f	26.57fg	10.26d	17	2419i	0.6	537.6ef	9.35c	6.83e	28.97f	10.68f
Captan + Si	23	3030h	1.2	846.7cd	9.30cd	6.64gh	27.35f	9.67ef	18	2625h	1	743.2cd	9.33cd	6.63fg	29.22f	9.84g
Pyrimetanil + Si	23	3281fg	1.4	835.3cd	9.24ef	6.55ijk	28.70e	9.30gh	19	2846fg	1.3	723.6d	9.33cd	6.63fg	30.86e	9.55h
Fludioxonil + Si	24	3364f	1.2	650.2e	9.23efg	6.46l	29.62d	9.16h	19	2963f	1.1	596.9e	9.30cde	6.48hi	31.94d	9.60h
Boscalid + Si	22	2640i	0.7	461.6gh	9.29cd	6.57ij	37.84c	10.27d	16	2228j	0.5	402.9hi	9.35cd	6.58hg	39.96c	10.96e
Azoxistrobin + Si	4	1320m	0.1	298.5i	10.33a	7.09c	50.79a	12.44a	3	1099n	0.1	214.5k	10.47a	7.17c	53.75a	13.62a
Iprodiona + Si	10	1646l	0.3	338.2i	10.36a	7.49a	41.44b	11.98b	6	1286m	0.2	297.6j	10.43a	7.55 ^a	43.30b	12.80b
Silicato de potasio	25	3041h	1.1	657.1e	9.32c	5.21m	25.03h	9.72e	20	2606h	1	587.6e	9.24ef	5.31j	26.22h	9.83g
Testigo	79	7436a	41.7	3841.4 ^a	8.75k	5.10n	19.76m	3.06m	69	6555a	31.2	2889.3a	8.78j	4.60k	20.27l	3.27n

^wLos valores medios seguidos por las mismas letras dentro de la misma columna, son estadísticamente iguales (*= p<0.05) según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD). / ^wMean values followed by the same letters within the same column are statistically equal (*= p<0.05) according to the least significant difference (LSD) test.

^xRendimiento en t ha⁻¹. / Yield in t ha⁻¹.

^yÁrea Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad calculada con las siete evaluaciones realizadas en el tiempo. / ^yArea Under the Disease Progress Curve calculated with the seven assessments over time.

^zPorcentaje de la última evaluación realizada. / ^zPercentage of last evaluation performed.

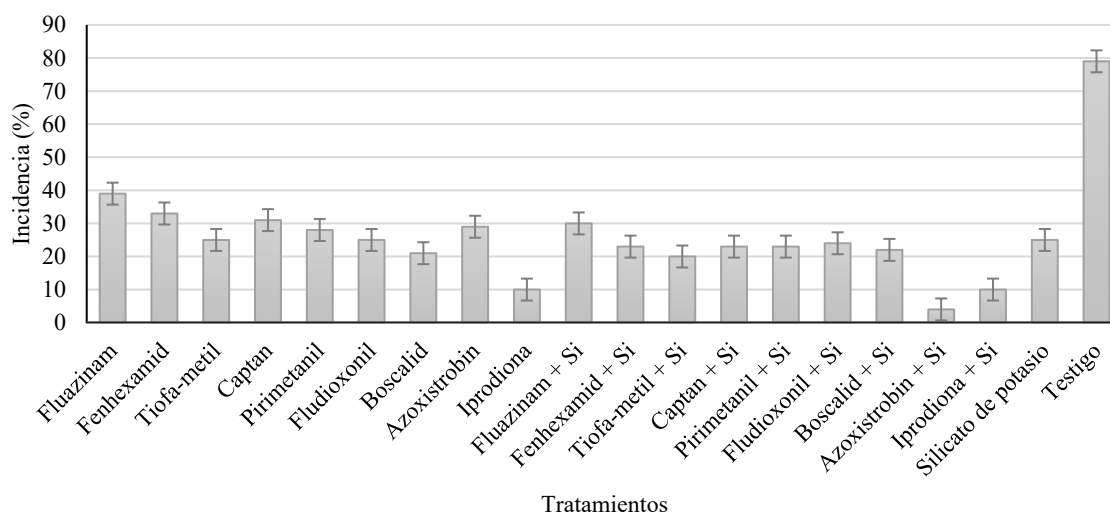


Figure 1. Incidence of gray mold induced by *B. cinerea* in blackberry fruits sprayed with 20 different treatments in the field. Data from the last evaluation (seventh) of the second repetition of the experiment.

Figura 1. Incidencia de moho gris inducido por *B. cinerea* en frutos de zarzamora asperjados con 20 tratamientos en campo. Datos de la última evaluación (séptima) de la segunda repetición del experimento.

also presented the lowest percentages of disease severity (Table 1). In the second repetition, there were interactions between the factors (G.L = 9, $F = 317.02$, $p < 0.0001$) as well as significant differences ($F = 373.06$, $p < 0.0001$) in the AUCPE. The treatment of azoxystrobin + potassium silicate showed significantly different results from the rest of the treatments, with the lowest AUCPE value (214.5) and the lowest percentage of the severity of the disease (Table 1; Figure 2).

With the addition of potassium silicate, all fungicides under study promoted a reduction in the incidence and severity of the disease induced by *B. cinerea*, compared to the application of the fungicides alone. This was reflected in the AUDPC. These results could be because Si modifies the properties of plant cell walls (Iwasaki *et al.*, 2002) by forming a hard outer layer (Bélanger *et al.*, 2003) that significantly reduces the penetration of phytopathogenic fungi (Rodrigues *et al.*, 2015). It has been reported that the foliar application of

fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos, presentando el menor valor (214.5); asimismo mostrando los porcentajes más bajos de severidad de la enfermedad (Cuadro 1; Figura 2).

Con la adición de silicato de potasio, todos los fungicidas promovieron una reducción de la incidencia y severidad de la enfermedad inducida por *B. cinerea* comparado con las aplicaciones individuales, lo cual se reflejó en el ABCPE. Lo anterior se podría deber a que el Si modifica las propiedades de la pared celular de las plantas (Iwasaki *et al.*, 2002), creando una capa externa dura de la misma (Bélanger *et al.*, 2003) que reduce significativamente la penetración de los hongos fitopatógenos (Rodrigues *et al.*, 2015). Asimismo, se ha reportado que el Si aplicado en forma foliar, activa las defensas naturales de las plantas, principalmente en la expresión de genes (Fauteux *et al.*, 2005). Con base en los conceptos generales de Jennings (2007) sobre nutrición y crecimiento micelial de hongos, al adherirse el Si a la pared celular, las enzimas de

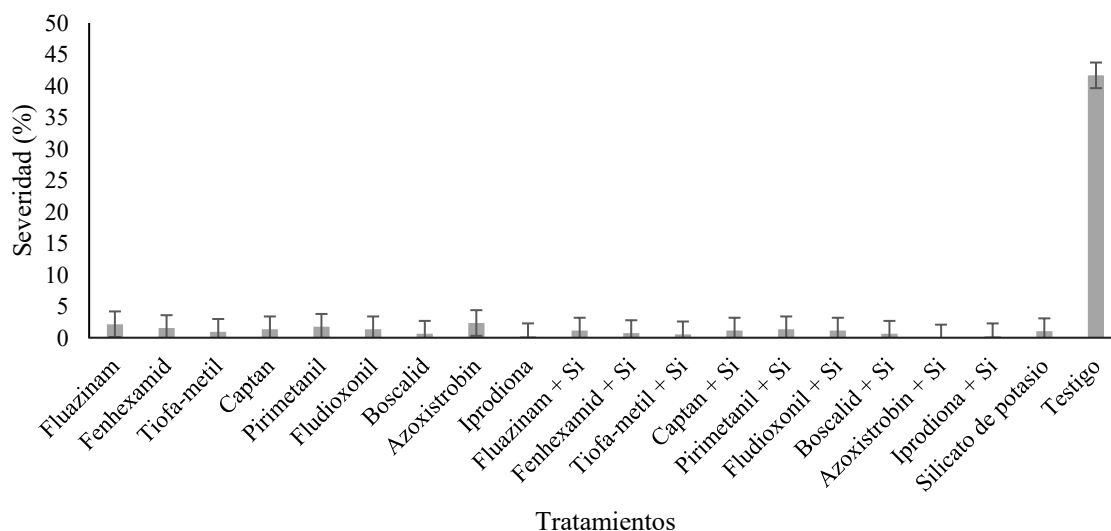


Figure 2. Severity of gray mold disease induced by *B. cinerea* in blackberry fruits sprayed with 20 different treatments in the field. Data from the last evaluation (seventh) of the second repetition of the experiment.

Figura 2. Severidad del moho gris inducido por *B. cinerea* en frutos de zarzamora asperjados con 20 tratamientos en campo. Datos de la última evaluación (séptima) de la segunda repetición del experimento.

Si activates the natural defenses of plants, mainly those associated with gene expression (Fauteux *et al.*, 2005). According to the general concepts of Jennings (2007) on fungal nutrition and mycelial growth, when Si adheres to the cell wall, the enzymes released from the hyphae cannot act efficiently to break down cellulose to glucose, affecting the nutrition of the fungus and mitigating the disease caused by it (Datnoff *et al.*, 2011).

The application of azoxystrobin reduced the percentages of incidence and severity in the first three evaluations (three applications). However, the fourth evaluation showed poorer results in the control of the disease, which suggests that the pathogen possibly developed resistance since strobilurins, as mentioned above, have a high risk of inducing resistance (Villani and Cox, 2014). This was not observed when azoxystrobin was combined with potassium silicate, possibly due to the modifications in the cell walls induced by Si and its ability to activate the plant's natural defenses (Bélanger *et al.*, 2003; Rodriguez *et al.*, 2015).

las hifas no actúan eficientemente en desdoblar la celulosa a glucosa, y la nutrición del hongo es afectada negativamente, por lo que la enfermedad se reduce (Datnoff *et al.*, 2011).

La aplicación de azoxystrobin disminuyó los porcentajes de incidencia y severidad en las primeras tres evaluaciones (tres aplicaciones), sin embargo, a partir de la cuarta se observó que no controlaba de la misma manera, por lo cual se observó que el patógeno posiblemente desarrolló resistencia, ya que las estrobilurinas, como se mencionó anteriormente, presentan alto riesgo de inducir resistencia (Villani y Cox, 2014). Lo anterior no se observó cuando el azoxystrobin se combinó con silicato de potasio y este efecto posiblemente se debe a las propiedades que presenta el Si como alterador de la pared celular y activador de las defensas naturales de la planta (Bélanger *et al.*, 2003; Rodriguez *et al.*, 2015).

En la variable sólidos solubles totales durante la primera repetición del experimento, se identificaron interacciones entre los factores en frutos

During the first repetition of the experiment, the total soluble solids variable showed interactions between factors in diseased (G.L = 9, F= 42.92, $p<0.0001$) and healthy (G.L = 9, F= 97.95, $p<0.0001$) fruits. In addition, significant differences were observed between diseased (F= 611.47, $p<0.0001$) and healthy fruits (F= 711.52, $p<0.0001$). The plants treated with azoxystrobin + potassium silicate and iprodione + potassium silicate showed significantly different results from the rest of the treatments, presenting the highest concentration of soluble solids in diseased and healthy fruits (Table 1). Similarly, in the second repetition of the experiment there was an interaction between factors in diseased (G.L = 9, F= 58.42, $p<0.0001$) and healthy fruits (G.L = 9, F = 104.52, $p<0.0001$). Significant differences were observed in diseased (F = 347.31, $p<0.0001$) and healthy fruits (F = 414.06, $p<0.0001$). The plants treated with azoxystrobin + potassium silicate and iprodione + potassium silicate showed significantly different results from the rest of the treatments with respect to the highest concentration of soluble solids in diseased and healthy fruits (Table 1).

In the present study, the concentration of soluble solids was higher in healthy fruits compared to diseased ones, but the plants treated with azoxystrobin + potassium silicate and iprodione + potassium silicate showed more degrees Brix. Marodin *et al.* (2014) found that the application of Si improved the physicochemical quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum*) by increasing the content of soluble solids. Similarly, Jarosz (2012) found a higher amount of soluble solids in cucumbers sprayed with Si. The response of plants to Silicon includes changes in the concentration of different elements, biomass production (including yield), photosynthetic rate, transpiration rate and production of enzymatic and non-enzymatic antioxidants, as well as changes in other

enfermos (G.L = 9, F= 42.92, $p<0.0001$) y sanos (G.L = 9, F= 97.95, $p<0.0001$). Además, se observaron diferencias significativas en frutos enfermos (F= 611.47, $p<0.0001$) y en sanos (F= 711.52, $p<0.0001$), donde las plantas que se trataron con azoxystrobin + silicato de potasio e iprodione + silicato de potasio fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos, presentado la mayor concentración de sólidos solubles para frutos enfermos y sanos (Cuadro 1). De manera similar, en la segunda repetición del experimento, hubo interacción entre los factores en frutos enfermos (G.L = 9, F= 58.42, $p<0.0001$) y sanos (G.L = 9, F = 104.52, $p<0.0001$), y se observaron diferencias significativas, tanto para frutos enfermos (F = 347.31, $p<0.0001$) como para sanos (F = 414.06, $p<0.0001$), donde las plantas que se trataron con azoxystrobin + silicato de potasio e iprodione + silicato de potasio fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos al identificarse la mayor concentración de sólidos solubles para frutos enfermos y sanos (Cuadro 1).

La concentración de sólidos solubles en la presente investigación fue mayor en frutos sanos respecto a los enfermos, pero las plantas tratadas con azoxystrobin + silicato de potasio e iprodione + silicato de potasio presentaron mayor cantidad de grados Brix. Por su parte, Marodin *et al.* (2014), encontraron que las aplicaciones de Si mejoraron la calidad fisicoquímica de los frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*), ya que incrementó los contenidos de sólidos solubles. De manera similar, Jarosz (2012) encontró mayor cantidad de sólidos solubles en pepino asperjado con Si. Las respuestas de las plantas al Silicio pueden ser cambios en la concentración de elementos, producción de biomasa (incluido el rendimiento), tasa fotosintética, tasa transpiratoria y producción de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, además de otros componentes de interés agronómico o comercial, como la

components of agronomic or commercial interest such as the content of soluble solids (Guntzer *et al.*, 2012; Haynes *et al.*, 2013).

Regarding the concentration of Silicon, interactions between factors were identified (G.L = 9, F = 324.27, $p < 0.0001$) in the first repetition of the experiment. Significant differences in the values of this variable were also observed (F = 661.90, $p < 0.0001$). The combination of azoxystrobin + potassium silicate was significantly different from the rest of the treatments, presenting the highest concentration of Silicon (50.79 ppm) (Table 1). A similar result was observed in the second repetition, with interactions between factors (G.L = 9, F = 315.13, $p < 0.0001$) and significant differences between treatments (F = 661.28, $p < 0.0001$). The combination of azoxystrobin + potassium silicate was significantly different from the rest of the treatments, presenting the highest silicon concentration (53.75 ppm) (Table 1).

Regarding fruit yield, an interaction between the factors was identified (G.L = 9, F = 176.61, $p < 0.0001$) during the first repetition, as well as significant differences between treatments (F = 429.24, $p < 0.0001$). The plants treated with azoxystrobin + potassium silicate showed significantly different results from the rest of the treatments. This treatment was associated with the highest yield (12.4 t ha⁻¹), followed by the treatments based on iprodione + potassium silicate and iprodione, with yields of 11.9 and 11.5 t ha⁻¹, respectively (Table 1). In the second repetition there was also an interaction between factors (G.L = 9, F = 195.54, $p < 0.0001$) as well as significant differences between treatments (F = 476.31.12, $p < 0.0001$). The treatment of azoxystrobin + potassium silicate was significantly different from the rest of the treatments, presenting the highest yield (13.6 t ha⁻¹), even higher than the result of the first repetition (Table 1).

concentración de sólidos solubles (Guntzer *et al.*, 2012; Haynes *et al.*, 2013).

Respecto a la concentración de Silicio, se identificaron interacciones entre los factores (G.L = 9, F = 324.27, $p < 0.0001$) en la primera repetición del experimento, además de identificarse diferencias significativas (F = 661.90, $p < 0.0001$). La combinación de azoxystrobin + silicato de potasio fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, presentando la concentración más alta de Silicio (50.79 ppm) (Cuadro 1). Similarmente ocurrió en la segunda repetición, ya que se identificaron interacciones entre los factores (G.L = 9, F = 315.13, $p < 0.0001$) y diferencias significativas (F = 661.28, $p < 0.0001$), donde la combinación de azoxystrobin + silicato de potasio fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, presentando la concentración de silicio más alta (53.75 ppm) (Cuadro 1).

En la variable rendimiento durante la primera repetición, se identificó interacción entre los factores (G.L = 9, F = 176.61, $p < 0.0001$), así como diferencias significativas (F = 429.24, $p < 0.0001$). Las plantas tratadas con azoxystrobin + silicato de potasio mostraron valores significativamente diferentes al resto de los tratamientos, presentando el mayor rendimiento (12.4 t ha⁻¹), seguido de los tratamientos a base de iprodione + silicato de potasio e iprodione, con rendimientos de 11.9 y 11.5 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 1). Del mismo modo, en la segunda repetición, hubo interacción entre los factores (G.L = 9, F = 195.54, $p < 0.0001$) y se observaron diferencias significativas (F = 476.31.12, $p < 0.0001$), en el cual, el tratamiento de azoxystrobin + silicato de potasio fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, mostrando el mayor rendimiento (13.6 t ha⁻¹) y siendo mayor en comparación con la primera repetición (Cuadro 1).

Las plantas que se trataron con azoxystrobin + silicato de potasio presentaron el mayor rendimien-

The plants treated with azoxystrobin + potassium silicate presented the highest yield per hectare. This is probably because Si alone, as a nutritive element, performs some metabolic and structural functions that have beneficial effects on the physiology of plants. Thus, the accumulation of Si results in an increase in productivity in different plant species. Marodine *et al.* (2014) evaluated the effect of three silicon sources on tomato yield and found that the yield increased as the dose of silicon increased. Lu *et al.* (2016) evaluated three different sources of Silicon on the agronomic variables of tomato and determined that the application of nanosilica was associated with increased height and dry and fresh weight of plant organs, and consequently with increased yield. Numerous studies suggest that Silicon increases the yield of crops such as strawberry (Ouellette *et al.*, 2017), tomato (Lu *et al.*, 2016; Marodine *et al.*, 2014; Toresano *et al.*, 2012), cucumber (Abd- Alkarim *et al.*, 2017), courgette (*Cucurbita pepo*) (Savvas *et al.*, 2009), potato (*Solanum tuberosum*) (Pilon *et al.*, 2013), wheat (*Triticum durum*) (Hanafy *et al.*, 2008), and other grasses (Ahmad *et al.*, 2017).

One of the most notable effects of Silicon on plants is the reduction of the incidence and severity of diseases caused by pathogens, which is reflected in different agronomic characteristics, including yield. Silicon applications can work as well as fungicides to suppress plant diseases, which makes this element a valuable addition to an integrated disease management strategy (Fillinger *et al.*, 2016).

In general, the data obtained in the present study showed that blackberry plants treated with a combination of different fungicides + potassium silicate, especially azoxystrobin, had a lower incidence and severity of gray mold disease. This was reflected in the component variables of yield. The conclusion is that potassium silicate enhances

to por hectárea, esto posiblemente se debe a que el Si por si solo como elemento nutritivo desempeña algunas funciones metabólicas y estructurales dentro de la fisiología de las plantas, y los beneficios de su acumulación resultan con un incremento en la producción de distintas especies vegetales. Marodine *et al.* (2014), evaluaron el efecto de tres fuentes de Silicio sobre el rendimiento de jitomate y encontraron que el rendimiento fue mayor en las dosis más altas de silicio. Similarmente, Lu *et al.* (2016) evaluaron tres fuentes distintas de Silicio sobre variables agronómicas de jitomate y determinaron que la aplicación de nanosilice tiene un mayor impacto en el incremento de altura y en el peso seco y fresco de los órganos, y de manera consecuente del rendimiento. Numerosos estudios sugieren que el Silicio aumenta el rendimiento de cultivos como fresa (Ouellette *et al.*, 2017), jitomate (Lu *et al.*, 2016; Marodine *et al.*, 2014; Toresano *et al.*, 2012), pepino (Abd-Alkarim *et al.*, 2017), calabacín (*Cucurbita pepo*) (Savvas *et al.*, 2009), papa (*Solanum tuberosum*) (Pilon *et al.*, 2013), trigo (*Triticum durum*) (Hanafy *et al.*, 2008) y otras gramíneas (Ahmad *et al.*, 2017).

Uno de los efectos más notables del Silicio en las plantas es la reducción en la incidencia y severidad de las enfermedades causadas por patógenos, lo cual se ve reflejado en las características agronómicas, incluyendo el rendimiento. Las aplicaciones de Silicio pueden funcionar tan bien como los fungicidas para suprimir las enfermedades de las plantas y la aplicación de este elemento tiene valor para su inclusión como una estrategia integrada de manejo de enfermedades (Fillinger *et al.*, 2016).

En general, los datos obtenidos en la presente investigación revelan que las plantas de zarzamora tratadas con la combinación de los diferentes fungicidas + silicato de potasio, especialmente azoxystrobin, presentaron menor incidencia y severidad de moho gris. Esto se reflejó en las variables

the effect of fungicides in field conditions and is a viable alternative for integrated management programs of blackberry gray mold caused by *Botrytis cinerea*.

LITERATURE CITED

- Abd-alkarim E, Bayoumi Y, Metwally E and Rakha M. 2017. Silicon supplements affect yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in net houses. African Journal of Agricultural Research 12 (31): 2518-2523. <https://doi.org/10.5897/ajar2017.12484>
- Ahmad H, Sajjid M, Hayat S, Ullah R, Ali M, Jamal A, Rahman A, Aman Z and Ali J. 2017. Growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria ananasa* Dutch) under different phosphorus levels. Research in Agriculture 2 (2): 19-28. <http://dx.doi.org/10.22158/ra.v2n2p19>
- Alcántar GG and Sandoval VM. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial No. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p
- Aneberries. 2021. Asociación Nacional de Exportadores de Berries A.C. <https://www.aneberries.mx/> (Consulta, febrero 2022).
- Bélanger RR, Benhamou N and Menzies JG. 2003. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). Phytopathology 93:402–412. <https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.4.402>
- Calvo-Garrido C, Viñas I, Elmer PA, Usall J and Teixidó N. 2014. Suppression of *Botrytis cinerea* on necrotic grapevine tissues by early season applications of natural products and biocontrol agents. Pest Management Science 70 (4):595–602. <https://doi.org/10.1002/ps.3587>
- Carisse O, Tremblay DM and Lefebvre A. 2015. Comparison of *Botrytis cinerea* airborne inoculum progress curves from raspberry, strawberry and grape plantings. Plant Pathology 63(5):983–993. <https://doi.org/10.1111/ppa.12192>
- Datnoff LE, Snyder GH and Korndörfer GH. 2011. Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science, 8. Florida, USA. 403p. [http://dx.doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80001-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80001-X)
- Fauteux F, Rémus BW and Menzies JG. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. FEMS Microbiology Letters 249:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.06.034>
- Fernández-Ortuño D, Grabke A, Bryson PK, Amiri A, Peres NA and Schnabel G. 2014. Fungicide resistance profiles in *Botrytis cinerea* from strawberry fields of seven southern U.S. states. Plant Disease 98:825-833. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-13-0970-RE>
- Fillinger S and Walker AS. 2016. Chemical Control and Resistance Management of *Botrytis* Diseases. Pp: 189-216. In: Fillinger S and Elad Y (eds.), *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. 486p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0>
- Guntzer F, Keller C and Meunier JD. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. Agronomy for Sustainable Development 32:201–213. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>

componentes del rendimiento, por lo tanto, se concluye que el silicato de potasio potencializa el efecto de los fungicidas en condiciones de campo y se presenta como una alternativa viable para incluirse en los programas de manejo integrado de moho gris de la zarzamora causado por *Botrytis cinerea*.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Hanafy AAH, Harb EM, Higazy MA and Morgan SH. 2008. Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. International Journal of Agricultural Research 3:1-26. <https://doi.org/10.3923/ijar.2008.1.26>
- Haynes RJ, Belyaeva ON and Kingston G. 2013. Evaluation of industrial wastes as sources of fertilizer silicon using chemical extractions and plant uptake. Journal of Plant Nutrition Soil Science 176:238–248. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200372>
- Iwasaki K, Maier P, Fecht M and Horts JW. 2002. Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Plant and Soil 238(2):281–288. <https://doi.org/10.1023/A:1014482911196>
- Jarosz Z. 2012. The effect of silicon application and type of substrate on yield and chemical composition of leaves and fruit of cucumber. Journal of Elementology 5:403-414. <https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.3.05>
- Jennings DH. 2007. The Physiology of Fungal Nutrition. Cambridge University Press. New York, USA. 622p. <https://doi.org/10.1007/BF02908824>
- Li XP, Kerrigan J, Chai W and Schnabel G. 2012. *Botrytis caroliniana*, a new species isolated from blackberry in South Carolina. Mycologia 104(3):650-658. <https://doi.org/10.3852/11-218>
- Lopes UP, Zambolim L, Costa H, Pereira OL and Finger FL. 2014. Potassium silicate and chitosan application for gray mold management in strawberry during storage. Crop Protection 63:103–106. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.013>
- Lu DMM, De Silva MR, Peralta EK, Fajardo AN and Peralta MM. 2016. Growth and yield of tomato applied with silicon supplements with varying material structures. Philippine e-Journal for Applied Research and Development 6:10-18. <http://pejard.slu.edu.ph/vol.6/2016.03.30.pdf>
- Marodin JC, Resende JT, Morales RG, Silva ML, Galvao AG and Zanin DS. 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. Horticultura Brasileira 32(2): 220-224. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200018>
- Osada VHK and Mora AG. 1997. 2LOG. Programa para desarrollar escalas de severidad por el método de Horsfall y Barratt. Manual del Usuario. Montecillo, Estado de México, Colegio de Postgraduados

- Ouellette S, Coyette MH, Labbé C, Laur J, Gaudreau L, Gosselin A and Belanger RR. 2017. Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. *Frontiers in Plant Science* 8:949. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00949>
- Pilon C, Soratto RP and Moreno LA. 2013. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. *Crop Science* 53(4): 1605-1614. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.10.0580>
- Rodrigues AF and Datnoff LE. 2015. *Silicon and Plant Disease*. Springer. Cham Heidelberg New York Dordrecht London. 148 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0>
- SAS Institute. 2002. *SAS User's Guide: Statistics, Version 9.0*. SAS Institute. Cary, NC.
- Savvas D, Giotis D, Chatzieustratiou E, Bakea M and Patakioutas G. 2009. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany* 65:11–17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.07.004>
- Terrones SJ, Nieto AD, Nava DC, Téliz OD, García VR, Vallejo PMR and Sánchez GP. 2019. *Botrytis cinerea* causing gray mold in blackberry fruit in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 37(3):365-382 <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1906-1>.
- Toresano SF, Valverde GA and Camacho F. 2012. Effect of the Application of Silicon Hydroxide on Yield and Quality of Cherry Tomato. *Journal of Plant Nutrition* 35(4): 567-590. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.644375>
- Tovar SA, Hernández MM, Cristobal AJ, Romero HR y Mora AG. 2002. Escala logarítmica diagramática de severidad de la mancha negra (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en Chirimoyo (*Annona cherimola* Mill). *Revista Mexicana de Fitopatología* 20:103-109. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61220117>
- Villani SM and Cox KD. 2014. Heteroplasmy of the cytochrome b gene in *Venturia inaequalis* and its involvement in quantitative and practical resistance to trifloxystrobin. *Phytopathology* 104(9):945–953. <https://doi.org/10.1094/PHTO-06-13-0158-R>.