






Fosfitos de potasio en el manejo de *Peronospora sparsa* Berkeley y calidad floral del cultivo de rosa cv. Samourai®

Potassium fosfites in *Peronospora sparsa* Berkeley management and flower quality of rose cv. Samourai®

Rómulo García-Velasco¹ , Martha Elena Mora-Herrera¹ , Jaime Mejía-Carranza¹ ,
Sotero Aguilar-Medel¹ , Mauricio González-Millán¹ 

¹Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México, km 1.5
Carretera Tenancingo-Villa Guerrero, 52400, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: marthaelenam@gmail.com

Fecha de recepción:

24 de abril de 2020

Fecha de aceptación:

23 de agosto de 2020

Disponible en línea:

25 de marzo de 2021

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

RESUMEN

Peronospora sparsa Berkeley limita hasta 100% la producción de rosa como flor de corte. Una alternativa sustentable en el control de oomicetos en diversos cultivos es el uso de fosfitos de potasio. Los objetivos de la presente investigación fueron evaluar la efectividad biológica de formulaciones comerciales de fosfito de potasio para el manejo de *P. sparsa*, y estimar el efecto de las aplicaciones de fosfitos en la calidad del tallo y el botón floral de rosa cv. Samourai®. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y un testigo absoluto con seis repeticiones, por dos años consecutivos. Se evaluó incidencia, severidad de la enfermedad, efectividad biológica, así como la calidad floral mediante la longitud y el diámetro de tallos y botones florales. Los fosfitos de potasio evaluados redujeron la incidencia hasta 81.7% y la severidad pasó de 71.7 a 97.0%, lo que llevó a una efectividad biológica de 96.9% con FosfiMax 40-20®. El tratamiento con Defense Ax® incrementó la longitud y el diámetro del botón con respecto a los otros tratamientos.

PALABRAS CLAVE

Incidencia y severidad, efectividad biológica, manejo integrado, ornamental, mildiú.

ABSTRACT

Peronospora sparsa Berkeley limits the production of rose as a cut flower up to 100%. In some crops, potassium phosphites are used as a sustainable alternative for the control of oomycetes. The objectives were to evaluate the biological effectiveness of commercial formulations of potassium phosphite for the management of *P. sparsa*, and to calculate their effect on the quality of rosa cv. Samourai® stems and flower buds. A randomized complete block design with five treatments and an absolute control with six repetitions were used for two consecutive years. The following aspects were evaluated: incidence, disease severity, biological effectiveness, and floral quality through the length and diameter of flower stems and buds. The potassium phosphites evaluated reduced incidence to 81.7% and severity from 71.7 to 97.0%, which led to a biological effectiveness of 96.9% with FosfiMax 40-20®. The Defense Ax® treatment increased the length and diameter of the button compared to the other treatments.

KEYWORDS

Incidence and severity, biological effectiveness, integrated management, ornamental, mildew.

INTRODUCCIÓN

En México, la rosa (*Rosa* spp.) como flor de corte es el principal cultivo de ornamentales, y el Estado de México es el mayor productor, con 860 ha (SIAP 2020). Uno de los principales problemas fitosanitarios de este cultivo lo ocasiona el oomiceto *Peronospora sparsa* Berkeley —conocido como mildiú veloso—, el cual puede causar pérdida total del cultivo cuando no se controla oportunamente (Álvarez-Romero et al. 2013, 2018). Este patógeno también se reportó en *Rubus arcticus* L. subsp. *arcticus* y *R. chamaemorus* L. (Lindqvist-Kreuzer et al. 2002), y, en México, en cultivos de zarzamora (*R. fruticosus* L.) (Rebollar-Alviter et al. 2009).

La infección por *P. sparsa* está restringida a los tejidos jóvenes; los síntomas de esta enfermedad se presentan sobre hojas, tallos, pedúnculos, cáliz y pétalos de las plantas de rosa; en el haz, se desarrollan manchas irregulares de color rojizo púrpura a pardo-oscuro, las cuales se rodean de un halo clorótico; en el envés se producen los signos del patógeno, que corresponden a un micelio de color marrón claro con abundante producción de esporangióforos y esporangios, lo que genera la apariencia de vellosidad característica de la enfermedad. Estas estructuras sólo se producen bajo condiciones de alta humedad relativa $\geq 85\%$ (Aegerter et al. 2003; Horst y Cloyd 2007). La enfermedad puede inducir una defoliación severa sobre las variedades de rosa más susceptibles y ocasionar la muerte de las ramas o la momificación de los botones florales. Es común que los síntomas foliares se confundan con quemaduras o toxicidad ocasionada por plaguicidas (Horst y Cloyd 2007).

Actualmente, el manejo de *P. sparsa* está basado en la aplicación de fungicidas como dimetomorf, fosetil de aluminio y metalaxil+mancozeb (Quiroga y Arbeláez 2004); sin embargo, los oomicetos presentan una diversidad genética que les permite adaptarse y desarrollar resistencia a los fungicidas y a la resistencia genética de las plantas (Castro et al. 2012). De acuerdo con Álvarez-Romero et al. (2013, 2018), existen nuevas alternativas para el control de enfermedades —como los fosfitos de potasio—, que deben ser evaluadas para el control de *P. sparsa* en rosa, y que representan menor riesgo a la salud y al ambiente (Guest y Grant 1991).

Los fosfitos han sido utilizados como suplemento de fósforo, porque incrementan en algunos casos la

producción y calidad de frutos (Estrada-Ortiz et al. 2013; Moor et al. 2009); también se demostró su efecto directo e indirecto en el control de patógenos (Guest y Bompeix 1990). Los fosfitos se translocan en el floema en forma oxianión (H_2PO_3^-) e inducen resistencia sistémica adquirida y proteínas relacionadas con la patogénesis en algunos cultivos (Percival et al. 2009; Eshraghi et al. 2011; Machinandiarena et al. 2012). En oomicetos inhiben la fosforilación oxidativa del metabolismo (Fenn y Coffey 1984; Smillie et al. 1989; Guest y Grant 1991), en el micelio inhiben el crecimiento y cambian la composición de la superficie, incrementan la actividad de la ruta de las pentosas fosfato, e inhiben enzimas reguladas alostéricamente por el fosfato (Smillie et al. 1989; Guest y Bompeix 1990; Guest y Grant 1991; Stehmann y Grant 2000; Wilkinson et al. 2001).

El uso de fosfito de potasio en programas de fumigación ha logrado disminuir la incidencia y severidad de mildiú veloso (*P. sparsa*) en plantas de zarzamora (Rebollar-Alviter et al. 2012) y del oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, en plantas de papa (Mohammadi et al. 2020). Con base en estos antecedentes, los objetivos de la presente investigación fueron evaluar la efectividad biológica de formulaciones comerciales a base de fosfito de potasio para el manejo de *P. sparsa*, y el efecto de la aplicación en la calidad de la flor en cultivo de rosa cv. Samourai[®], bajo la hipótesis de que los KH_2PO_3 tienen actividad fungicida sobre *P. sparsa* e inducen una mayor calidad de flor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento en campo

El estudio se efectuó en el Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en la localidad de Tenancingo, Estado de México, México ($18^\circ 58' 4''$ N, $99^\circ 36' 4''$ O, 2062 msnm), bajo invernadero semitecnificado con plantas de rosa cv. Samourai[®] (Meilland International, Francia), de dos años de edad, en una parcela experimental con una densidad de 80,000 plantas ha^{-1} . Los experimentos se establecieron en 2016 y 2017; de febrero a mayo, para evaluar calidad de tallo floral, y de junio a septiembre,

para determinar el efecto sobre *Peronospora sparsa*. Antes de iniciar los tratamientos, se llevó a cabo un despunte de brotes en las plantas (pinzado) para estimular brotes (tallos florales) homogéneos.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos de fosfito de potasio evaluados se basaron en las formulaciones comerciales: Defense Ax®, Atlante®, FosfiMAX 40-20®, Phos-K®, Multi-ProteK® y un testigo absoluto (aplicación de agua). Las dosis correspondieron con los valores medios recomendados por el fabricante del producto, excepto para Defense Ax®, del cual se utilizó la dosis de 1 mL L⁻¹ (Cuadro 1).

Inducción de la enfermedad

Los experimentos se establecieron en los periodos junio-septiembre de 2016 y 2017, en una plantación con previa presencia de la enfermedad. Para inducir el desarrollo de *P. sparsa*, se mantuvo la humedad relativa mayor a 85% (Horst y Cloyd 2007), y temperaturas en intervalos de 20 a 25°C, óptimas para la infección y colonización del fitopatógeno (Aegerter et al. 2003).

Variables evaluadas y análisis estadístico

Se evaluó la incidencia y la severidad de *P. sparsa*, en diez tallos de rosa etiquetados al azar, entre 15-20 cm de altura (15 días posteriores al pinzado);

Cuadro 1. Concentración de fósforo y potasio de los tratamientos para su evaluación biológica en el manejo de *P. sparsa*

Tratamiento	Nombre comercial	Porcentaje de fósforo (H ₂ PO ₅)	Porcentaje de potasio (K ₂ O)	Dosis comercial recomendada	Dosis aplicada recomendada
T1	Defense Ax®	27.0 (0.27)*	21.0 (0.21)	2 a 5 mL L ⁻¹	1 mL L ⁻¹
T2	Atlante®	30.0 (0.75)	20.0 (0.5)	1.5 a 3 mL L ⁻¹	2.5 mL L ⁻¹
T3	FosfiMAX 40-20®	40.05 (1.2)	19.27 (0.57)	2 a 4 mL L ⁻¹	3 mL L ⁻¹
T4	Phos-K®	42.0 (1.05)	28.0 (0.7)	2 a 3 mL L ⁻¹	2.5 mL L ⁻¹
T5	Multi-ProteK®	26.0 (1.3)	37.0 (1.85)	5 g L ⁻¹	5 g L ⁻¹
T6	Testigo	-----	-----	-----	-----

*Entre paréntesis se indica el porcentaje de H₂PO₅ y K₂O utilizado del producto por aspersión.

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con seis repeticiones; cada unidad experimental constó de una cama de 0.80 m de ancho por 2.5 m de longitud, en hilera simple, con 28 plantas de rosa cv. Samourai®. Los tratamientos se aplicaron a ambos lados de la hilera para cubrir la planta. La primera aplicación se hizo 15 días posteriores al pinzado (dpp), cuando los tallos florales (brotes) tenían entre 15 y 20 cm de longitud; la segunda aplicación, a los 30 dpp, cuando inició la formación del botón floral, y la tercera, a los 45 dpp, cuando el botón floral se formó (13 mm). Se usó una aspersora motorizada Maruyama® MS072H, con motor Honda® GX-25 (Japón), calibrada para un gasto de 1,200 L ha⁻¹; el gasto por tratamiento fue de 1.4 L.

en total se hicieron seis evaluaciones: una antes de iniciar los tratamientos y cinco cada siete días. La incidencia se calculó de acuerdo con la proporción de tallos florales sintomáticos, en relación con los etiquetados por unidad experimental. La severidad de la enfermedad en el área foliar dañada se evaluó con la escala de índices de severidad propuesta por Rebollar-Alviter et al. (2012), con siete categorías, en donde 0: ausencia de la enfermedad; 1: hasta 5%; 2: 5-10%; 3: 10-25%; 4: 25-50%; 5: 50-75%; 6: mayor a 75% de área foliar dañada con manchas color púrpura.

Los datos del índice de la severidad se transformaron a porcentajes de infección mediante la fórmula:

$$P = [\sum(n.v)/N.C]100$$

Donde, P = grado de severidad en %; n = número de muestras por categoría; v = valor numérico de cada categoría; N = número total de muestras; C = categoría mayor.

Con los datos transformados de incidencia y severidad, se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) por el método de integración trapezoidal (Jagger y Richars 2007), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} [(y_i + y_{i+1})/2] (t_{i+1} - t_i)$$

Donde, n_i = número de observaciones; y_i = intensidad de la enfermedad (incidencia o severidad); t_i = periodo de evaluación (tiempo en días); i = i -ésima observación.

Con los datos de severidad transformados a porcentaje de infección, se calculó la efectividad biológica mediante la fórmula:

$PC = (X - Y/X) \times 100$. Donde, PC = porcentaje de control; X = porcentaje de severidad en el testigo; Y = porcentaje de severidad en el tratamiento.

Para determinar la calidad de los tallos florales por efecto de los diferentes productos a base de fosfitos de potasio, los tratamientos fueron aplicados sin la presencia de *P. sparsa* de febrero a mayo de 2016 y 2017. La temperatura se mantuvo de 18 a 22°C durante la noche, y de 22 a 28°C durante el día, y la humedad relativa, de 50 a 60%, con ventilación continua para evitar la condensación de agua requerida por el patógeno. La primera aplicación de los tratamientos se efectuó a los 15 dpp, y dos aplicaciones más se hicieron a intervalos de 15 días (mismo número e intervalo de aplicaciones que para incidencia y severidad).

Se registraron las variables longitud y diámetro de tallo y botón floral. En cada unidad experimental se tomaron al azar 15 tallos con madurez para flor de corte (cuando el cáliz se dobló en una posición inferior a la horizontal y los primeros pétalos iniciaron la separación del botón floral) (De la Cruz-Guzmán et al. 2015). La longitud de los tallos y del botón floral se midió con un flexómetro (Auto-Lock® 3 MT, TRUPER®, México); en

los tallos se hizo desde el punto de corte hasta la base del cáliz, y en los botones, desde la base del cáliz hasta la punta del botón. El diámetro se midió con un vernier digital (Mitutoyo® modelo CD-6" CSX, Japón). Los tallos se midieron en su parte media, y el botón floral, en la parte más ancha, ubicada encima del cáliz.

A los datos de variables de incidencia, severidad, ABCPE, longitud y diámetro de tallo y botón floral se les comprobó la homogeneidad de varianza. A los datos de variables de incidencia, severidad, ABCPE, longitud y diámetro de tallo y botón floral se les comprobó la homogeneidad de varianza entre tratamientos mediante la prueba de Chi cuadrada, y la distribución normal de las observaciones de cada tratamiento, por la prueba de Shapiro Wilk, con niveles de significancia de $P < 0.05$. Posteriormente, los datos de cada variable se sometieron a un análisis de varianza y prueba de diferencia mínima significativa (LSD) ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico InfoStat versión 2008 (Balzarini et al. 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia

La intensidad de la enfermedad causada por *P. sparsa* sobre rosa var. Samourai® fue diferente en los periodos de evaluación, debido a las condiciones climáticas. No obstante, hubo diferencia significativa en el ABCPE entre tratamientos ($p \leq 0.0001$), comparado con el control; la tendencia en el efecto de los tratamientos fue el mismo para ambos periodos de evaluación.

Durante el periodo de junio a septiembre de 2016, al integrar la intensidad de la enfermedad entre el tiempo inicial y el tiempo final, representado por el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, se determinó diferencia significativa entre tratamientos ($p \leq 0.0001$); con 2,175.8 para el testigo (sin aplicación de fosfito), y en los tratamientos con fosfito de potasio con un rango de 711.6 a 40.8, este último valor corresponde al tratamiento con FosfiMAX 40-20® (Figura 1). Comparados con el testigo, FosfiMAX 40-20® 3 mL L⁻¹, Phos-K® 2.5 mL L⁻¹ y Multi-ProteK® 5 g L⁻¹ redujeron el ABCPE en 98.1, 93.8 y 90.6%, respectivamente.

En el periodo de 2017 se manifestó mayor incidencia de la enfermedad. El ABCPE integrado del tratamiento testigo fue 3,021.7; estadísticamente diferente ($p \leq$

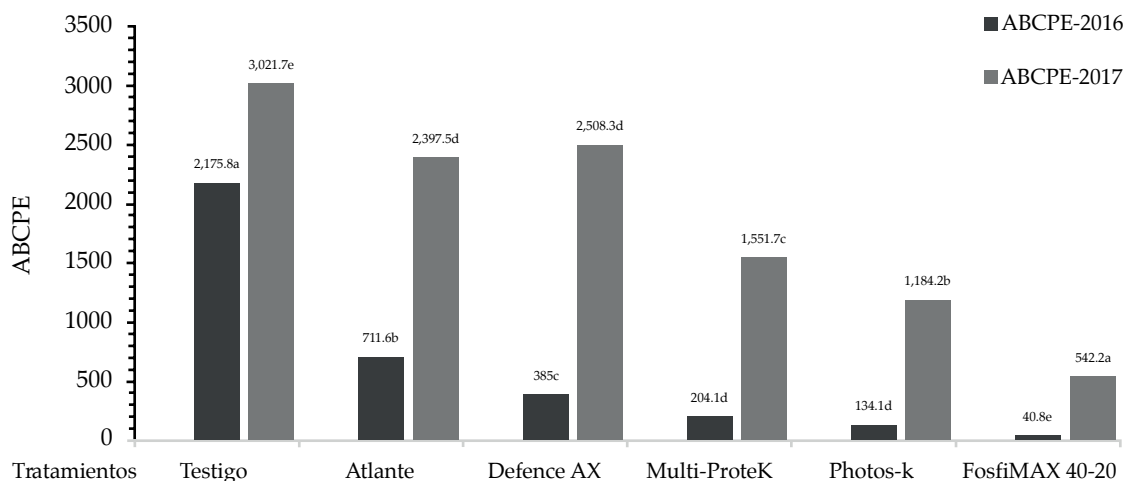


Figura 1. Incidencia de la enfermedad ocasionada por *P. sparsa*, evaluada mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), después de tres aplicaciones foliares de fosfitos de potasio en 2016 y 2017, en rosa cv. Samourai[®]

0.0001) a los tratamientos, con 2,508.3 para Defense AX[®] y 542.2 para FosfiMAX 40-20[®] (Figura 1). En esta evaluación, todos los tratamientos a base de fosfitos de potasio tuvieron una mayor ABCPE que el periodo 2016. Sin embargo, la tendencia en la disminución de la enfermedad fue la misma, al reducir el ABCPE en 82.0, 60.8 y 48.6%, con los tratamientos de FosfiMAX 40-20[®], Phos-K[®] y Multi-ProteK[®], respectivamente.

Álvarez-Romero et al. (2018) encontraron que el fosfito de potasio comercial Nutriphite magnum[®] con 40% de P₂O₅, 16% de K₂O y 2% de N, disminuyó la incidencia de mildiú veloso en plantas de rosa variedad Lupita[®]: en verano 92.4% y en otoño 42.0%, con respecto a 100% del testigo. Chavarro-Carrero et al. (2012) reportaron que aspersiones de fosfito de potasio comercial con 40.05% de H₂PO₅ y 19.27% de K₂O en la dosis recomendada redujeron la incidencia a 35.0% y la severidad a 6.3% de *P. sparsa* en rosas de la variedad Bingo White[®], comparada con 100 y 95% del testigo, respectivamente. Lo que indica que hay factores extrínsecos que intervienen en la efectividad de los productos. FosfiMAX[®] 40-20 (40.05%), evaluado *in vitro* redujo la producción de biomasa de *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. y *Athelia rolfsii* (Curzi) C.C. Tu & Kimbr., en rangos de 16.9 a 53.2% y de 58.3 a 63.4%, respectivamente, así como la inhibición de la formación de oosporas y esclerocios (Yáñez et al. 2018).

Las diferencias observadas de la incidencia en el ABCP (Figura 1) indican que en el periodo 2017 se presentó una mayor cantidad de plantas sintomáticas

por *P. sparsa*; esto puede ser atribuido a las condiciones ambientales, ya que la humedad relativa (HR) entre junio y septiembre de 2017 se mantuvo en un rango de 79.72 a 89.15% (83.26%) y la temperatura promedio fue de 21.7°C; en el mismo periodo, en la evaluación 2016, la HR se mantuvo en un rango de 78.05 a 87.44% (82.25%), con temperatura promedio de 22.2°C (INIFAP-LNMYSR 2017). Probablemente la diferencia de 1.01% de HR puede ser suficiente para una mayor presencia de plantas dañadas por *P. sparsa* observada durante el periodo 2017.

La germinación de los esporangios de *P. sparsa* sobre plantas de rosa requiere de una temperatura de entre 15 y 20°C (óptima de 18°C) y HR superior a 85%; para la colonización, temperaturas de 20 a 25°C y una lámina de agua por dos horas (Horst y Cloyd 2007) es suficiente para la explosión de la epidemia (Aegerter et al. 2003).

Severidad

El ABCPE del área del tejido vegetal afectado por *P. sparsa* mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.0001$) por periodo de evaluación, comparados con el testigo (Cuadro 2). El ABCPE fue de 1,858.1 en el tratamiento testigo durante el periodo 2016, mientras que en los tratamientos FosfiMAX 40-20[®], Phos-K[®], Multi-ProteK[®], Defense AX[®] y Atlante[®], el ABCPE se redujo 99.6, 97.9, 96.4, 94.9 y

89.0%, respectivamente, valores más altos que los reportados en estacas de rosa con *P. sparsa* tratados con los fungicidas metalaxyl y azoxystrobin, donde el ABCPE fue de 65 a 70% (Aegerter et al. 2003). Todos los tratamientos con fosfitos mostraron efectividad biológica (EB) significativa sobre *P. sparsa* de 96.9 a 86.1%; destacan FosfiMAX 40-20[®], con 96.9%; Phos-K[®], con 94.4%, y Multi-ProteK[®], con 93.0% (Cuadro 2).

En la evaluación del 2017, también hubo diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.0001$); se observó

presentaron efectividad biológica similar en 2016 y 2017, lo que sugiere que estos productos son más eficaces en el control de la enfermedad, y coinciden con lo reportado por Chavarro-Carrero et al. (2012), al obtener efectividad biológica de hasta 98.24%, y de incidencia 27.5%, con FosfiMax 40-20[®] 2.5 mL L-1 en rosa variedad Bingo White[®].

Los resultados indican que tres aplicaciones de cualquiera de los fosfitos de potasio probados tienen efectividad contra el mildiú ocasionado por *P. sparsa*

Cuadro 2. Respuesta de *Peronospora sparsa* a productos comerciales a base de fosfito de potasio en rosa cv. Samourai[®], expresado en área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) durante la estación verano-otoño en los periodos 2016 y 2017

Tratamiento	ABCPE severidad ^y		Efectividad biológica ^z	
	2016	2017	2016	2017
Testigo	1,858.1 ^{ax}	1,641.1a		
Atlante [®]	204.1b	621.3b	86.1	75.1
Defense AX [®]	93.3c	674.7b	92.2	71.7
Multi-ProteK [®]	65.1c	285.8c	93.0	90.1
Phos-K [®]	38.9cd	228.5c	94.4	91.7
FosfiMAX 40-20 [®]	6.4d	92.4d	96.9	95.6
R ²	1.00	0.97		
CV	13.39	17.00		

^yÁrea bajo la curva del progreso de la enfermedad absoluta, calculada por periodo de evaluaciones, cada siete días por cinco semanas.

^xExpresado en %. *Los promedios en la misma columna seguidos de una letra igual no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher. Los valores son medias de seis evaluaciones por ensayo (2016, 2017) y 60 muestras por tratamiento.

la misma tendencia de efectividad, aunque el ABCPE fue mayor que el año anterior. FosfiMAX 40-20[®] redujo a 82.0% de ABCPE con relación al testigo, con una efectividad biológica de 95.6%, muy similar al periodo 2016 (96.9%); el mismo comportamiento se mantuvo en los tratamientos con Phos-K[®] y Multi-ProteK[®], con una efectividad biológica de 91.7 y 90.1%, respectivamente (Cuadro 2).

Los tratamientos Atlante[®] y Defense Ax[®] disminuyeron la efectividad biológica de 2016 a 2017 en 11 y 20.5%, respectivamente, lo que indica que la respuesta de los fosfitos va a estar ligada a las condiciones ambientales que van a favorecer o desfavorecer el desarrollo del patógeno. Los tratamientos FosfiMAX 40-20[®], Phos-K[®] y Multi-ProteK[®] (Cuadro 2)

sobre plantas de rosa; esto tuvo como resultado una menor incidencia y severidad de la enfermedad, así como una mayor efectividad biológica. Estos resultados fueron similares a los reportados en el cultivo de zarzamora (*Rubus* spp.), pero con seis aplicaciones de fosfito de potasio (ácido fosfórico al 48%, Supactive[®]) o en manejo combinado (3 o 4 aplicaciones) con otros productos habitualmente empleados para el control de este patógeno (Rebollar-Alviter et al. 2012). Cabe destacar que Supactive[®] se aplicó en una concentración de 1.6% de fosfato de potasio, mayor que FosfiMAX 40-20[®] y Multi-ProteK[®], con 1.2 y 1.3% de ácido fosfórico, respectivamente, aunque Phos-K[®], con 1.05%, tuvo la mayor efectividad biológica, después del tratamiento FosfiMAX 40-20[®]. Los resultados de

este trabajo indican que cualquiera de los tratamientos con los productos utilizados a base de fosfito de potasio funcionan como protector con acción fungicida sistémica contra este oomiceto, especialmente *P. sparsa* (Rebollar-Alviter et al. 2012) y otros como *P. infestans* (Mohammadi et al. 2020).

Los productos a base de fosfitos tienen acción directa e indirecta sobre los oomicetos, pero es necesario realizar estudios sobre todos sus efectos y optimizar las concentraciones para cada cultivo;

En términos generales, los tratamientos con fosfito de potasio no promueven el diámetro de tallo en esta variedad; estos mismos resultados ya habían sido observados en esta variedad de rosa (Samourai®) cuando se utilizó 40% de P₂O₅, 16% de K₂O y 2% de N (Nutriphite magnum®) para control de cenicilla (*Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary), donde los tallos tuvieron estadísticamente menor longitud y diámetro que el control y el tratamiento con quitosano (Domínguez et al. 2016). Sin embargo, este mismo

Cuadro 3. Efecto de fosfitos de potasio comerciales sobre la longitud y diámetro de tallos y botón floral de rosa cv. Samourai®

Tratamiento	Tallo Longitud	Diámetro	Botón floral Longitud	Diámetro
Defense AX®	89.5c*	0.65b	4.5a	3.2a
Atlante®	90.2bc	0.64b	4.3b	3.0bc
FosfiMAX 40-20®	92.6ab	0.67ab	4.3b	3.0bc
Phos-K®	88.4c	0.66ab	4.3b	3.1b
Multi-ProteK®	89.9bc	0.66ab	4.2b	3.0c
Testigo absoluto	93.5a	0.69a	4.3b	3.1b

Los resultados son el promedio de las evaluaciones de 2016 y 2017. Numerales expresados en centímetros (cm). *Literales diferentes representan diferencias significativas mediante la prueba LSD ($p < 0.0001$).

asimismo, aunque los fosfitos se han clasificado como de bajo riesgo en inducir resistencia, se ha reportado que *P. sparsa* y otros oomicetos pueden desarrollar resistencia a los fosfitos (Dobrowolski et al. 2008).

EFFECTO DE LOS FOSFITOS DE POTASIO EN LA CALIDAD DE LA FLOR

Longitud y diámetro de tallo

La longitud y el diámetro del tallo fue menor ($p \leq 0.0001$) en las plantas de rosa tratadas con fosfito de potasio con respecto al testigo (Cuadro 3), pero esto no afectó la calidad requerida por el mercado (Halevy 1989). El tratamiento control tiene tallos significativamente más grandes que los tratamientos con fosfitos, lo que puede deberse a factores intrínsecos de respuesta de la variedad de rosa

compuesto aplicado para el control del mildiú veloso en la variedad de rosa Lupita® incrementó significativamente la longitud (en verano 24.0%, y en otoño, 97.4%) y el diámetro (verano, 13.0%, y otoño, 45.0%) de los tallos con respecto al testigo (Álvarez-Romero et al. 2018). Lo anterior sugiere que, posiblemente, para las rosas variedad Samourai®, los fosfitos no promueven el crecimiento del tallo, a pesar de que han sido utilizados como fuente de crecimiento en algunas plantas. Se han recomendado como bioestimulantes o fertilizantes, pero su efecto va a depender de la concentración de fosfito; Estrada-Ortiz et al. (2012) encontraron que los tratamientos con fosfitos no incrementan la materia seca de los tallos, pero sí incrementan los azúcares en los frutos, mientras que Estrada-Ortiz et al. (2013) encontraron que los fosfitos aplicados al cultivo de fresas no incrementan el rendimiento, pero sí estimula las antocianinas, por lo que la respuesta a los fosfitos va a depender de la especie y la variedad.

Longitud y diámetro de botón

El tratamiento con Defense AX[®] incrementó significativamente ($p \leq 0.0001$) la longitud y el diámetro del botón en las plantas de rosa con respecto a los otros tratamientos con fosfitos y al testigo (Cuadro 3).

No obstante, fue el producto con menor concentración de fósforo (0.27%) y potasio (0.21%) con respecto a los otros productos probados, especialmente comparado con el tratamiento Multi-ProteK[®], con mayor porcentaje de producto activo (1.3% de H₂PO₅ y 1.85% K₂O). En estudios previos se observó que Nutriphite magnum[®], con 40% de P₂O₅, 16% de K₂O y 2% de N, no tenía efecto en el tamaño del botón en rosa (Domínguez et al. 2016). La diferencia entre Defense AX[®] y los otros tratamientos de fosfitos es que contiene 3% de extractos orgánicos, y se ha demostrado que las aplicaciones foliares de extractos botánicos u orgánicos son utilizadas como complementos nutricionales de los

cultivos, y favorecen e incrementan el rendimiento y la calidad del producto (Carter 2002; Tighe et al. 2014), por lo que es posible que los extractos presentes en el tratamiento Defense AX[®] favorecieran el desarrollo del botón floral.

CONCLUSIONES

Las cinco formulaciones a base de fosfito de potasio aplicadas tres veces durante el ciclo del cultivo presentaron alta efectividad biológica de hasta 96.9% con FosfiMAX 40-20[®], por lo que son recomendables para el manejo de *Peronospora sparsa* sobre el cultivo de Rosa (*Rosa híbrida*) cv. Samourai[®]. El tratamiento Defense AX[®] incrementó la longitud y el diámetro del botón floral, por lo que el fosfito de potasio es recomendable como suplemento nutricional y como control de *P. sparsa* bajo las condiciones de este experimento.

LITERATURA CITADA

- Aegerter BJ, Nuñez JJ, Davis RM. 2003. Environmental factors affecting rose downy mildew and development of a forecasting model for a nursery production system. *Plant Disease* 87: 732-738. <https://doi.org/10.1094/pdis.2003.87.6.732>
- Álvarez-Romero PI, García-Velasco R, Mora-Herrera ME, González-Díaz JG, Salgado-Siclán ML. 2013. Estado actual de *Peronospora sparsa*, causante del Mildiú veloso en rosa (*Rosa* sp.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 31: 113-125.
- Álvarez-Romero PI, García-Velasco R, Mora-Herrera ME, Salgado-Siclán ML, Domínguez-Serrano D. 2018. Identification and alternative management of downy mildew in rose (*Rosa* spp.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1577-1589. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1715>
- Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW. 2008. Infostat. Manual del Usuario. Brujas. Córdoba, Argentina.
- Carter MR. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94: 38-47. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.3800>
- Castro RA, Fernández PPS, Osuna AP. 2012. Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annuum-Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30: 49-65.
- Chavarro-Carrero EA, García-Velasco R, González-Díaz JG, González-Cepeda LE, Jiménez-Ávila LJ. 2012. Uso del fosfito de potasio para el manejo de *Peronospora sparsa* en *Rosa* spp. *Fitopatología Colombiana* 36: 53-56.
- De la Cruz-Guzmán GH, Arévalo-Galarza M, Peña-Valdivia CB, Castillo-González AM, Colinas-León MT, Mandujano-Piña M. 2015. Influencia del índice de cosecha en la vida de florero de siete cultivares de *Rosa hybrida*. *AgroProductividad* 8: 3-11.
- Dobrowolski MP, Shearer BL, Colquhoun IJ, O'Brien PA, Hardy GESTJ. 2008. Selection for decreased sensitivity to phosphite in *Phytophthora cinnamomi* with prolonged use of fungicide. *Plant Pathology* 57: 928-936. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01883.x>
- Domínguez D, García R, Mora ME, Salgado ML. 2016. Identificación y alternativas de manejo de la cenicienta del rosal. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34: 22-42. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1509-1>
- Eshraghi L, Anderson J, Aryamanesh N, Shearer B, McComb J, Hardy GE, O'Brien P. 2011. Phosphite primed defence responses and enhanced expression of defence genes in *Arabidopsis thaliana* infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology* 60: 1086-1095. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02471.x>
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Núñez-Escobar R, Sandoval-Villa M. 2012. Phosphite on growth and fruit quality in strawberry. *Acta Horticulturae* 947: 277-282. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.947.35>
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Núñez-Escobar R, Sandoval-Villa M. 2013. The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13: 612-620. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162013005000049>
- Fenn ME, Coffey MD. 1984. Studies on the in vitro and in vivo antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology* 74: 606-611. <https://doi.org/10.1094/phyto-74-606>
- Guest DI, Bompeix G. 1990. The complex mode of action of phosphonates. *Australasian Plant Pathology* 19: 113-115. <https://doi.org/10.1071/app9900113>
- Guest D, Grant B. 1991. The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biological Reviews* 66: 159-187. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1991.tb01139.x>
- Halevy AH. 1989. Objective and subjective parameters of quality evaluation of cut flowers. *Acta Horticulturae* 261: 227-232. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1989.261.29>
- Horst K, Cloyd R. 2007. Compendium of Rose Diseases. The American Phytopathological Society. St. Paul, USA.
- [INIFAP-LNMYSR] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. [internet]. 2017. INIFAP- Campo Experimental Pabellón - Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. [cited 2020 agosto 03]. Disponible en: <https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr>
- Jagger M, Richards K. 2007. Temporal analysis I: Quantifying and comparing epidemics. In: Madden VL, Hughes G, van den Bosch F, editors. *The Study of Plant Disease Epidemics*. St. Paul, The American Phytopathological Society. P. 63-116.
- Lindqvist-Kreuzer H, Koponen H, Valkonen J. 2002. Variability of *Peronospora sparsa* (syn. *P. rubi*) in Finland as measured by amplified fragment length polymorphism. *European Journal of Plant Pathology* 108: 327-335. <https://doi.org/10.1023/A:1015621931579>

- Machinandiarena MF, Lobato MC, Feldman ML, Daleo GR, Andreu AB. 2012. Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology* 169: 1417-1424. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.005>
- Mohammadi MA, Han X, Zhang Z, Xi Y, Boorboori M, Wang-Pruski G. 2020. Phosphite Application alleviates *Phytophthora infestans* by modulation of photosynthetic and physio-biochemical metabolites in potato leaves. *Pathogens* 9: 170. <https://doi.org/10.3390/pathogens9030170>
- Moor U, Pöldma P, Tõnutare T, Karp K, Starast M, Vool E. 2009. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Scientia Horticulturae* 119: 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.005>
- Percival GC, Noviss K, Haynes I. 2009. Field evaluation of systemic inducing resistance chemicals at different growth stages for the control of apple (*Venturia inaequalis*) and pear (*Venturia pirina*) scab. *Crop Protection* 28: 629-633. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.03.010>
- Quiroga BNJ, Arbeláez TG. 2004. Evaluación de la eficacia de fungicidas aplicados al suelo y al follaje para el control de mildew veloso, ocasionado por *Peronospora sparsa* en un cultivo comercial de rosa. *Agronomía Colombiana* 22: 110-118.
- Rebollar-Alviter A, Silva-Rojas HV, Zelaya-Molina LX, Ellis MA. 2009. First report of *Peronospora sparsa* causing downy mildew (dryberry) of *Rubus fruticosus* in Mexico. *Plant Disease* 93: 674. <https://doi.org/10.1094/pdis-93-6-0674B>
- Rebollar-Alviter A, Silva-Rojas HV, López-Cruz I, Boyzo-Marín J, Ellis MA. 2012. Fungicide spray programs to manage downy mildew (dryberry) of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection* 42: 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.06.007>
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [internet]. 2020. Estacionalidad por año agrícola. Ciclo Agrícola: Perennes. Modalidad Hídrica: Riego + Temporal. [cited 2020 junio 30]. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.
- Smillie R, Grant B, Guest D. 1989. The mode of action of phosphite: Evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. plants. *Phytopathology* 79: 921-926. <https://doi.org/10.1094/phyto-79-921>
- Stehmann C, Grant BR. 2000. Inhibition of enzymes of the glycolytic pathway and hexose monophosphate bypass by phosphonate. *Pesticide Biochemistry & Physiology* 67: 13-24. <https://doi.org/10.1006/pest.1999.2465>
- Tighe R, Montalba R, Leonelli G, Contreras A. 2014. Efecto de dos extractos botánicos en el desarrollo y contenido de polifenoles de ají (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 115-127. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i1.1015>
- Wilkinson CJ, Shearer BL, Jackson TJ, Hardy GESJ. 2001. Variation in sensitivity of Western Australian isolates of *Phytophthora cinnamomi* to phosphite in vitro. *Plant Pathology* 50: 83-89. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00539.x>
- Yáñez MG, Ayala F, Partida L, Velázquez TdeJ, Godoy TP, Medina R. 2018. Efecto in vitro de fosfito de potasio sobre *Athelia rolfsii* y *Pythium aphanidermatum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1532-1538. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.286>