

Aplicación de un compost con aporte de silicio en cultivo de rosa (*Rosa x hybrida*)

Application of a compost with addition of silicon in rose cultivation (*Rosa x hybrida*)

Jaime Mejía-Carranza¹ ,
David Cruz-Chávez¹ ,
Rafael Alvarado-
Hernández¹ ,
Marithza Guadalupe
Ramírez-Gerardo^{2*} 

¹Centro Universitario
Tenancingo, UAEM, Carretera
Tenancingo - Villa Guerrero km
1.5, CP. 52400. Tenancingo,
Estado de México, México.

²Tecnológico Nacional de
México, Campus Occidente
del Estado de Hidalgo, Paseo
del Agrarismo 2000, Carretera
Mixquiahuala -Tula km 2.5,
CP. 42700. Mixquiahuala de
Juárez, Hidalgo, México.

*Autor de correspondencia:
mgramirez@itsoeh.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 12 de diciembre
2021

Aceptado: 17 de agosto 2022

Como citar: Mejía-Carranza
J, Cruz-Chávez D, Alvarado-
Hernández R, Ramírez-
Gerardo MG (2022) Apli-
cación de un compost con
aporte de silicio en cultivo
de rosa (*Rosa x hybrida*).
Ecosistemas y Recursos
Agropecuarios 9(3): e3227.
DOI: 10.19136/era.a9n3.3227

RESUMEN. El uso excesivo de agroquímicos para nutrir y controlar plagas en cultivo de rosa (*Rosa x hybrida*) conlleva costos ambientales y económicos, por lo que se buscan alternativas para disminuir su utilización. El objetivo de la presente investigación fue obtener un compost elaborado con vegetales que aportan silicio y, evaluar su efecto en cuatro ciclos productivos de rosa cv. Freedom[®], sobre la incidencia de araña roja (*Tetranychus urticae*), propiedades del suelo y calidad de flor. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones, los tratamientos fueron, testigo sin aplicación (T0), compost (T1) y productos comerciales, Nubiotek Si[®] (T2) y Sillex[®] + Silifertidol[®] (T3). Las características del compost obtenido fueron 35% de humedad, 34% de materia orgánica y 4.2 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica, valores ubicados dentro de la normatividad mexicana, su aplicación mejoró significativamente ($P < 0.05$) la cantidad de materia orgánica y actividad microbiana en suelo, así como un menor número promedio de tallos con presencia de ácaros, sin embargo, no se presentó una mejora en la calidad del cultivo y en el número promedio de *T. urticae*. La disponibilidad de silicio fue limitada y, por lo tanto, no fue suficiente para ejercer un efecto significativo en las variables evaluadas en los ciclos de cultivo.

Palabras clave: Abono orgánico, actividad microbiana, calidad de flor, *Tetranychus urticae*.

ABSTRACT. Excessive use of agrochemicals to nourish and control pests in rose crops (*Rosa x hybrida*) entails environmental and economic costs, so alternatives are sought to reduce their use. The objective of this research was to obtain a compost made with vegetables that provide silicon and to evaluate its effect in four productive cycles of rose cv Freedom[®], on the incidence of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), soil properties and flower quality. The experimental design was complete randomized blocks with three repetitions, the treatments were, control without application (T0), compost (T1) and commercial products, Nubiotek Si[®] (T2) and Sillex[®] + Silifertidol[®] (T3). The characteristics of the compost were 35% humidity, 24% organic matter and 4.2 dS m⁻¹ of electric conductivity, values within the Mexican regulations, its application significantly improved ($P < 0.05$) the amount of organic matter, microbial activity in the soil, as well as a longer average number of stems with the presence of mites, however, there was no improvement in the quality of the crop and in the average number of *T. urticae*. It is concluded that the availability of silicon was limited and therefore, it was not enough to exert a significant effect on the variables evaluated in the cultivation cycles.

Key words: Organic fertilizer, microbial activity, quality flower, *Tetranychus urticae*.

INTRODUCCIÓN

La producción de rosa de corte (*R. hybrida*) en el sur del Estado de México emplea una cantidad significativa de agroquímicos que ocasionan la degradación física, química y biológica del suelo (Guadarrama-Nonato *et al.* 2018). Como alternativa se tiene la aplicación de materia orgánica que favorece la formación de agregados, aumenta la retención de humedad, evita la lixiviación de nutrimentos, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, promueve la actividad microbiana (Barje *et al.* 2016) y, en consecuencia, contribuye también a mejorar la calidad del cultivo (Khosravi *et al.* 2019). La incorporación de materia orgánica al suelo en forma de abonos orgánicos, implica la liberación lenta de los nutrientes, por lo que pueden no estar disponibles en momentos claves, cuando hay mayor demanda por el cultivo, por ello dentro del plan de fertilización se incorporan abonos orgánicos al mismo tiempo que productos minerales (Barje *et al.* 2016, Haouas *et al.* 2021) como abonos orgánicos enriquecidos con fósforo, silicio, calcio o la combinación de éstos (Almeida *et al.* 2019, González-Durazno *et al.* 2019). En relación a esto Naveed *et al.* (2020), reportan una mejora en rendimiento del cultivo de canola (*Brassica napus*) con la incorporación de estiércoles enriquecidos con calcio; por otra parte, la aplicación de estiércol de bovino mezclado con caliza, yeso y fósforo en *Brachiaria* spp. no impactaron en la producción de materia seca (Almeida *et al.* 2019). El silicio, es un precursor de moléculas de señalización por lo que, su acumulación en los tejidos vegetales (Alhousari y Greger 2018, Kaushik y Saini 2019) favorece la protección contra plagas. En *Fragaria* spp. la aplicación de dosis de 22 - 27 μg de silicio mostró una disminución en la incidencia de araña roja (*T. urticae*) (Bakhat *et al.* 2018). De manera similar dosis de 20, 40, 60, 80 y 160 mg L^{-1} de silicio en pepino, berenjena, frijol y maíz disminuyeron daños por el mismo ácaro (Gatarayihya *et al.* 2010). En un estudio realizado en cultivo de fresa asociaron una disminución en el número de ácaros por hoja cuyo contenido de silicio fue de 26.8 $\mu\text{g mg}^{-1}$ y con al menos dos años de una aplicación constante de silicio (Liu *et al.*

2020). El silicio también influye en la tolerancia al estrés hídrico (Farahani *et al.* 2020) y en la calidad de flor (Farooq *et al.* 2017). No obstante, en el cultivo de *Oriza sativa*, las aplicaciones al suelo de 4 L ha^{-1} de SiO_2 , no incrementaron el rendimiento (Furcal-Beriguete y Herrera-Barrantes 2013). Aún con estudios de los mecanismos de absorción de silicio en diferentes cultivos (Mitani-Uneno *et al.* 2011, Deshmukh *et al.* 2013, Sun *et al.* 2017), se desconoce el mecanismo molecular para la absorción de este elemento. Se sabe que las plantas comúnmente usan ácido monosilícico (H_4SiO_4) como fuente del elemento (Kaushik y Saini 2019) y se considera que su acumulación en las plantas depende de su disponibilidad y de la capacidad de absorción de cada especie. Algunas especies de las familias *Poaceae*, *Equisetaceae* y *Cyperaceae* se caracterizan porque acumulan hasta el 4% de su peso seco en silicio (Castellanos *et al.* 2015), pero es importante mencionar que factores como el pH, la presencia de iones de Fe u otros minerales a los que se adhiere el silicio están involucrados en su disponibilidad y movilidad en suelo (Schaller y Ehlers 2021). El objetivo de esta investigación fue elaborar un compost con aporte de silicio y evaluar la incidencia de *T. urticae* y calidad del tallo floral en rosa de corte con aplicaciones de silicio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El compost se elaboró en las instalaciones del Centro Universitario UAEM Tenancingo, de la Universidad Autónoma del Estado de México (18° 58' 00" LN, 99° 36' 44" LO; a 2060 msnm). Como fuente de silicio se utilizaron *Equisetum hyemale* L. y *Cyperus papyrus* L. colectadas en la región, y *Avena sativa* L. comercial. *E. hyemale* y *C. papyrus* se secaron por siete días y posteriormente se trituraron con un molino (INGAR® México) a un tamaño de ± 5 mm. Para reducir el tiempo de compostaje se aplicaron microorganismos comerciales (Organicorp®, México). El compostaje se hizo en seis contenedores de plástico con capacidad de 200 L. La fuente de nitrógeno fue estiércol bovino obtenido de la región. Las cantidades utilizada para

obtener el compost fueron 3.5 kg de *E. hyemale*, 1.5 kg *C. papyrus*, 3 kg de *A. sativa*, 5 kg de estiércol de bovino, 0.125 L de microorganismos y 22 L de melaza: agua (1:10). Durante el proceso de compostaje se aplicaron riegos periódicamente y se realizaron volteos continuos para facilitar la actividad microbiana. Cada siete días hasta el día 28 y posteriormente a los 58 y 80 días se midió la temperatura, conductividad eléctrica (CE), pH, y materia orgánica (MO). La temperatura se midió con un termómetro (TFA[®], Alemania) en cinco puntos aleatorios del contenedor. La CE, y pH se midieron con un potenciómetro (Hanna Instruments[®], México), en una solución acuosa con agitación constante en placa termomagnética (Binder[®], USA) durante 20 minutos. El porcentaje de MO durante el compostaje se midió en 2 g de compost calcinada en mufla (Termo Fisher[®], USA) a 550 ± 5 °C durante dos horas de acuerdo a SEMARNAT (2008). El contenido de N total se cuantificó por el método de Kjeldahl, con una digestión ácida de la muestra hasta obtener N amoniacal, después una destilación con NaOH y cuantificación por volumetría. Los análisis se realizaron en cinco repeticiones. El porcentaje de carbono orgánico (CO) se obtuvo a partir de la MO considerando el factor de 1.724 (SEMARNAT 2008). Posteriormente, se calculó la relación C/N al dividir CO entre N orgánico total. La prueba de granulometría se realizó con dos tamices (0.10 y 30 mm) (SEMARNAT 2018) con 1 kg de compost. Para la cuantificación de silicio se utilizaron 5 g de muestra en 50 mL de CaCl₂ 0.01 M que se mantuvieron en agitación durante 1 h, posteriormente se filtraron (Whatman 42) para dejar reposar por 12 h. Después se mezcló 10 mL de la solución con 1 mL de sulfomolibdica, se añadieron 2 mL de ácido tartárico y 10 mL de ácido ascórbico (Combatt *et al.* 2017) posterior a 1 h se realizó la lectura a 660 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10s Vis Termo Scientific).

El estudio se realizó en cuatro ciclos de producción de *R. hybrida* cultivar Freedom[®]. De noviembre 2019 a enero 2020, de febrero a abril, de abril a junio y de julio a septiembre de 2020; se establecieron 580 plantas en suelo bajo inver-

nadero, distribuidas en dos camas separadas a un metro. La distancia entre plantas fue de 10 cm. Se aplicó riego rodado durante las primeras cuatro semanas y posteriormente el riego fue por goteo (cinta calibre 1800). La nutrición fue quincenal con la fórmula de Steiner (1984) al 100%. Se realizó control preventivo de enfermedades y plagas con productos comerciales como: Clorotalonil 720 F[®] (clorotalonil) (2 mL L⁻¹), Nubiotek S[®] (20 mL L⁻¹), Agrimec[®] (abamectina) Acaristop 50 SC[®] (6 mL L⁻¹). La temperatura (máxima y mínima) y humedad relativa ambiental se registró con un higrómetro (Extech[®], USA). El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres réplicas, el factor de bloqueo fue el gradiente de sombra. Se emplearon cuatro tratamientos, testigo sin aplicación (T0), compost elaborado con *E. hyemale*, *C. papyrus* y *A. sativa* (T1) y dos tratamientos control con silicio que correspondieron a productos comerciales, Nubiotek Si[®] (T2) aplicado en fertirriego y, un tratamiento combinado de Silex[®] + Silifertidoi[®] (T3) (Tabla 1) el primero de estos se aplicó foliar y el segundo en fertirriego. Las dosis de los productos comerciales y el compost se aplicaron con base a lo indicado en la etiqueta del producto comercial y a la cantidad que usualmente utiliza el floricultor, respectivamente (Tabla 1). El conteo de ácaros sin sexar se realizó al inicio de la formación de botón y antes del corte, en los tallos florales en el envés de tres hojas maduras de la parte media del tallo floral a punto de corte (Vázquez *et al.* 2016) con una lupa cuenta hilos (Metal Linen Test[®], 5x). Se realizaron mediciones de pH y contenido de MO al suelo, una vez a mitad de cada ciclo de producción, correspondiendo a los meses de enero, abril, junio y septiembre de 2020. El pH se midió en suelo: agua, a una relación de 1:2, respectivamente (Hanna Instruments[®], México); la MO mediante la oxidación de carbono orgánico por disolución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico de acuerdo a SEMARNAT (2000). La actividad microbiana se determinó mediante la liberación de C-CO₂ en incubaciones aerobias de suelo, en frascos herméticos, con humedad edáfica al 75% de espacio poroso lleno de agua y a una temperatura ambien-

Tabla 1. Aporte de silicio de compost y productos comerciales aplicados en cultivo de rosa cultivar Freedom®

Tratamiento	SiO ₂	Forma /Vía de absorción
Testigo (T0)	0	
Compost (T1)	128 g m ⁻¹	Sólido/raíz
Nubiotek Si® (T2)	397 mg L ⁻¹	líquido/raíz
Silfertidol® +Silex® (T3)	Silfertidol® 200 g m ⁻¹ + Silex® 68 mg L ⁻¹	sólido/raíz y líquido/foliar

tal de 28 ± 1 °C. El C-CO₂ se capturó en una solución de NaOH 0.5 M y se determinó por titulación mediante una solución de HCl 0.05 M (Guadarrama-Nonato *et al.* 2018). El grosor del tallo se midió con un vernier digital (Truper®, México) en la zona baja, media y alta del mismo. Con un flexómetro (Truper®, México), se registró la longitud de la base del tallo al receptáculo del botón floral y, el largo del botón se midió de la base del cáliz a ápice floral. El ancho del botón se midió en el ecuador. Se realizó un Análisis de Varianza ($\alpha = 0.05$) y donde existieron diferencias significativas se realizó una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) además se realizó un análisis de correlación múltiple entre las variables con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2008).

RESULTADOS

Obtención de compost

A los siete días de compostaje se observó la fase termófila con temperaturas mayores a 50 °C. Del día 21 al 40 se registró un descenso gradual de la temperatura relacionada con la fase mesófila y, finalmente la etapa de maduración fue a los 58 días con temperaturas de ± 30 °C (Figura 1). El pH se mantuvo durante el compostaje, con un valor cercano a 10, y la conductividad eléctrica (CE) se incrementó de 2 a 3.5 dS m⁻¹. El porcentaje de materia orgánica (MO) disminuyó durante el proceso de 80 a 60%. En cuanto a la caracterización final del compost indicó una granulometría menor de 30 mm, contenido de humedad de 35%, mientras que el pH y la CE al final del proceso fueron 9.2 y 4.2 dS m⁻¹ respectivamente, y el contenido de MO del 32%, el porcentaje de Nitrógeno del 0.83, la relación carbono nitrógeno (C/N) de 22, y el contenido de silicio de 2%.

Incorporación de compost al suelo

La incorporación de compost en el tratamiento T1 incrementó el contenido de MO con respecto del tratamiento control (T0), lo cual fue evidente en el mes de septiembre (Figura 2A). Referente al pH, los valores registrados durante el estudio se ubicaron entre 7 y 9 (Figura 2B), y al final del experimento el pH del suelo registró un valor ligeramente ácido (6.5), muy similar a los valores registrados al inicio del mismo.

La incorporación de MO produjo en el tratamiento donde se aplicó compost (T1) una liberación de C-CO₂ mayor ($P < 0.05$) respecto al resto de los tratamientos (Tabla 2), en el ciclo primavera y verano. Se encontró que la diferencia en el C-CO₂ acumulado en ambos ciclos fue mayor en un 33% que en primavera.

Presencia de ácaros y calidad de flor

Se encontró diferencias estadísticas significativas en el número de ácaros ($P < 0.05$) por efecto del ciclo de producción, pero no por efecto del tratamiento con silicio (Tabla 3). El menor número de ácaros se encontró en los ciclos invierno y primavera y mayor presencia en verano en donde la temperatura mínima rebasó los 10 °C y la máxima promedio fue de 32 °C. Al considerar el número de tallos promedio con presencia de ácaros fue menor estadísticamente ($P < 0.05$) en los tratamientos donde se aplicó silicio respecto al testigo (Figura 3). Se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en la calidad de flor por efecto del ciclo de producción, pero no por efecto del tratamiento de silicio (Tabla 3). En cuanto a longitud y diámetro de tallo se vio favorecido en el ciclo de verano, mientras que el botón fue de mayor en el invierno ($P < 0.05$). No hubo correlaciones significativas de calidad de flor con tratamientos de silicio,

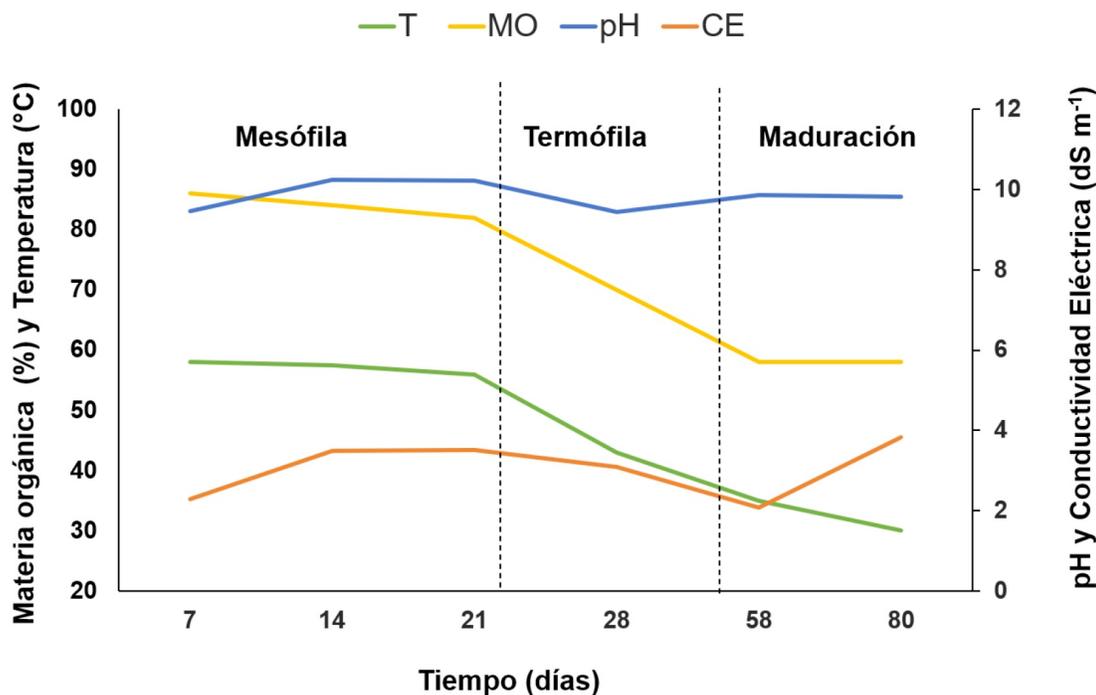


Figura 1. Dinámica de temperatura (T), Materia orgánica (MO), pH y conductividad eléctrica (CE) durante el proceso de compostaje de vegetales con aporte de silicio.

aunque entre variables de calidad se observó que el diámetro del botón se correlacionó estadísticamente con la longitud de botón ($r = 0.97$, $P < 0.01$) y con la longitud de tallo ($r = 0.95$, $P < 0.05$); así como la longitud de botón con la longitud de tallo ($r = 0.99$, $P < 0.01$).

DISCUSIÓN

Obtención de compost

El incremento de la temperatura observada en el proceso de compostaje (Figura 1) indicó la presencia de microorganismos que contribuyeron a la degradabilidad de la MO contenida en el compost, lo que coincide con lo mencionado por Chang *et al.* (2019), en donde las poblaciones microbianas cambian durante el proceso de acuerdo a la tolerancia a la temperatura. En cuanto a los valores obtenidos de pH, contrastan con lo reportado por Chang *et al.* (2019), quienes mencionan que el pH debe oscilar entre 7 y 8, de manera que los valores obtenidos con tendencia a la basicidad se pueden asociar a que una descomposición de material proteico y

liberación de amoníaco presente en el estiércol utilizado, como lo reporta Sánchez-Monedero *et al.* (2001). En cuanto a la CE, los valores de 2 a 4 dS m^{-1} (Figura 1) indican que a partir de los 58 días se presentó una degradación lenta de la MO y en consecuencia la formación de sales disminuyó, lo cual se asocia a la presencia de material resistente a la degradación, como compuestos de lignina y celulosa (Marzi *et al.* 2019) presentes en *E. hyemale*, *C. papyrus* y *A. sativa*. Es decir, la degradación de la materia orgánica continua, pero de forma lenta. La disminución del porcentaje de MO durante el proceso de compostaje se asoció a la pérdida de carbono en forma de CO_2 que como se ha reportado por Delgado *et al.* (2019), ya que se presenta durante la descomposición del material por acción de hongos y bacterias que fue del 30% de la MO inicial. La caracterización final del compost indicó que la granulometría fue aceptable de acuerdo con la SEMARNAT (2018), el contenido de humedad se ubicó dentro del intervalo de 25 a 40%, que es el idóneo (Román *et al.* 2013) y el requerido en la norma NMX-

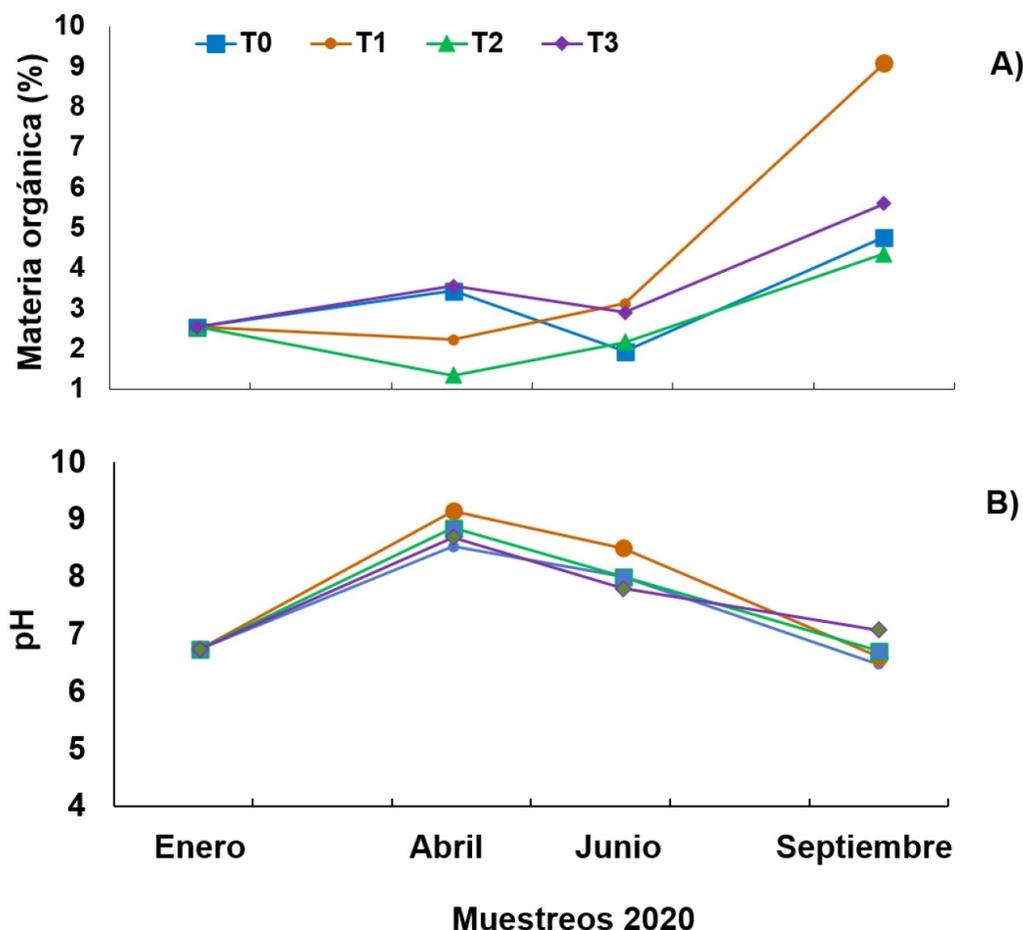


Figura 2. Materia orgánica (MO) A) y pH (B) en el suelo de cuatro tratamientos con silicio en el cultivo de Rosa Freedom[®]. Testigo sin aplicación (T0), compost con aporte de silicio (T1), Producto comercial (Nubiotek Si[®], T2); producto combinado (Silifertido[®] +Silex[®], T3).

AA-180-SFI-2018 (SEMARNAT 2018). El pH básico fue ligeramente mayor al límite reportado por SEMARNAT (2018), mientras que la CE se ubicó dentro de intervalo idóneo (0.5 a 12 dS m⁻¹) para abonos orgánicos. El contenido de MO que se obtuvo se considera un valor adecuado, ya que el mínimo se establece en 20% de acuerdo con la SEMARNAT (2018). El porcentaje de Nitrógeno obtenido fue bajo, debido a que los valores deben estar entre 1 y 4% (SEMARNAT 2018). De acuerdo con Marzi *et al.* (2019) la relación C/N obtenida en el compost indica que no hay riesgo de inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos.

Tabla 2. C-CO₂ acumulado después de 7 días de incubación aerobia de suelo con tratamientos diferenciales en contenido de silicio.

Tratamiento	Ciclo primavera mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo	Ciclo otoño mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo
Testigo (T0)	271.31 ± 4.89 ^c	195.28 ± 7.33 ^b
Compost (T1)	421.66 ± 19.55 ^a	283.41 ± 0.0 ^a
Nubiotek Si [®] (T2)	343.89 ± 0.0 ^b	160.71 ± 2.44 ^c
Silifertido [®] +Silex [®] (T3)	305.88 ± 12.22 ^b	183.18 ± 34.2 ^{bc}

Media ± DS. Medias en columna con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, P < 0.05).

Incorporación de compost al suelo

La cantidad de compost aplicado con pH de 10, no fue suficiente para generar modificaciones importantes en el pH del suelo, ya que al final del experimento el pH de éste fue ácido (Figura 2B). Las

Tabla 3. Valores de F en número de ácaros por hoja y variables de calidad, así como comparación de medias por ciclo de producción en rosa cultivar Freedom®.

Fuente de Variación	G. L.	Ácaros por hoja	Calidad de flor			
			Diámetro Tallo mm	Longitud Tallo cm	Diámetro botón mm	Longitud botón mm
Ciclo	3	*	*	**	**	**
Tratamiento	3	ns	ns	ns	ns	ns
Ciclo x Tratamiento	9	ns	ns	ns	ns	ns
Medias por ciclo de producción						
Invierno 2019		3.87 ± 0.19 ^{ab}	6.1 ± 1.8 ^b	70.7 ± 2.4 ^a	40.1 ± 1.8 ^a	55.4 ± 1.6 ^a
Primavera 2020		0.485 ± 0.05 ^b	5.8 ± 1.0 ^b	56.9 ± 2.4 ^b	31.9 ± 1 ^{ab}	45.4 ± 1 ^b
Verano 2020		8.77 ± 0.13 ^a	6.8 ± 1.1 ^a	77.0 ± 0.8 ^a	28.7 ± 1.1 ^{bc}	43.7 ± 1.3 ^b
Otoño 2020		No detectados	5.11 ± 2.2 ^c	58.6 ± 5.8 ^b	28.3 ± 2.2 ^b	38.6 ± 3.1 ^c

G.L.= Grados de libertad, * = P < 0.05, ** = P < 0.01. Medias en columna con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, P < 0.05). No significativo (ns).

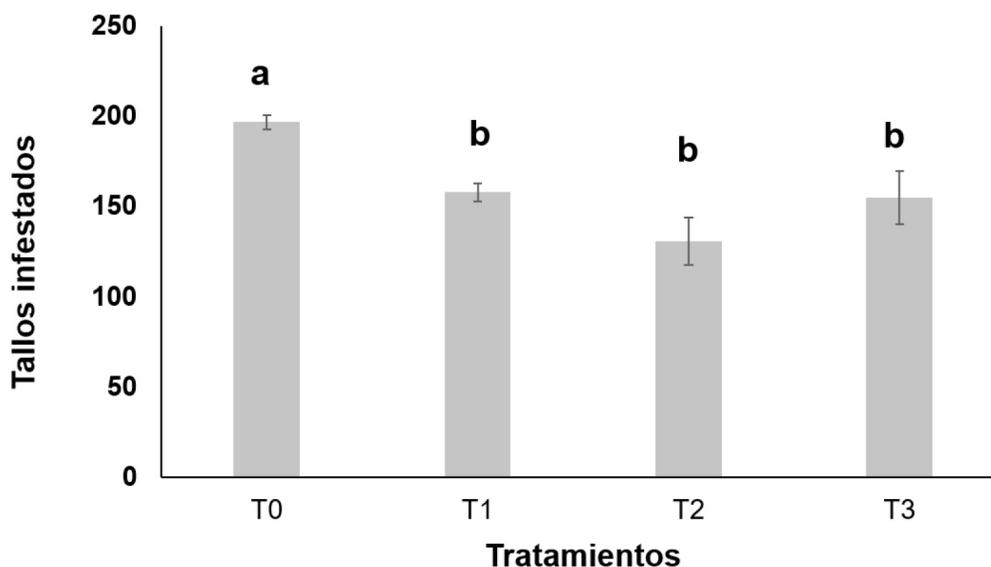


Figura 3. Tallos infestados con *Tetranychus urticae* en cuatro tratamientos con silicio en cultivo de Rosa Freedom®. Testigo sin aplicación (T0), compost con aporte de silicio (T1), Producto comercial (Nubiotek Si®, T2); producto combinado (Silifertidol® + Sillex®, T3). Media ± DS, Tukey, P < 0.05.

diferencias en la actividad microbiana observadas en cada ciclo se atribuyen a que la MO que se aplicó se mineralizó paulatinamente, primero la más lábil (proteínas, carbohidratos, ácidos grasos), lo que promueve mayor actividad microbiana en primavera, enseguida el material rico en celulosa y, posteriormente la MO recalcitrante (lignina y polifenoles) que se mineraliza más lentamente (Hu *et al.* 2018).

Hubo una mayor actividad microbiana en los suelos donde se aplicó compost con respecto al suelo en donde se aplicó el producto mineral, lo cual se

atribuye al aporte de microorganismos presentes en el compost, que promueven dicha actividad microbiana y, por consiguiente, la liberación de CO₂. Al haber una mayor actividad microbiana el impacto es la mineralización de la materia orgánica y en consecuencia la disponibilidad de nutrientes incluidos el Silicio.

Presencia de ácaros y calidad de la flor

Los resultados en el número de ácaros por hoja (Tabla 3) fueron contrastantes a lo reportado

en estudios similares. Al respecto, Gatarayiha *et al.* (2010) encontraron la disminución del número de ácaros en diferentes cultivos, cuando combinaron la aplicación de silicio con control biológico; mientras que Liu *et al.* (2020), reportan la disminución en el daño por ácaros y hongos, después de dos años de aplicación continua de silicio.

La temperatura es un factor que afecta la sobrevivencia de los ácaros (Bayu *et al.* 2017), en temperaturas mínimas promedio de 10 °C, los huevecillos de *T. urticae* no sobreviven, por ello en invierno y primavera se registró el menor número de ácaros. En el ciclo de verano la temperatura máxima promedio fue mayor a los 30°C, lo que favoreció la reproducción. Un menor número de tallos promedio con presencia de ácaros se presentó en donde se aplicó silicio con respecto del tratamiento testigo (Figura 3), lo que indica un posible control de éstos como ha sido reportado en diversos cultivos (Gatarayiha *et al.* 2010, Bakhat *et al.* 2018). La calidad de la flor se vio afectada por las condiciones climáticas, lo que coincide con lo reportado por Rodríguez y Flórez (2006) quienes reportan que el tallo floral es muy sensible a condiciones ambientales como la humedad y la temperatura.

De igual forma se reporta que las aplicaciones foliares de silicio muestran mayor asimilación de dicho elemento (Zamojska *et al.* 2018). Es importante destacar que el proceso de mineralización de la MO juega un papel relevante en la disponibilidad del silicio, sin embargo, el tiempo de mineralización idóneo para su disponibilidad puede ser más largo que el comprendido en este estudio, debido a que el silicio se encuentra en su condición amorfa (fitolitos) (González-Durazno *et al.* 2019). Su disponibilidad también se ha asociado a valores de pH del suelo menores o iguales a 9 (Takahashi 1978, Schaller y Ehlers 2021). En ese sentido el pH del suelo no fue limitante para que el silicio estuviera disponible en el suelo, un pH ácido promueve la solubilidad de

los compuestos de silicio (Schaller y Ehlers 2021) y, por lo tanto, pasan a formas asimilables como ácido silícico. Una de las desventajas de utilizar materiales orgánicos como el compost es la variación en el tiempo para la disponibilidad de los nutrimentos, contrariamente, los fertilizantes minerales son más predecibles, en ese sentido, la cantidad de silicio aportado en cada tratamiento y la forma asimilable por efecto de las condiciones edáficas interfiere en su absorción (Schaller y Ehlers 2021). En el caso de compost, se estima que por ciclo se aportaron 128 g m⁻¹ de SiO₂, (Tabla 2), sin embargo, por el tiempo y condiciones de mineralización de la materia orgánica pudo no estar disponible para el cultivo o no lo estuvo en cantidad suficiente para detectar su efecto en las variables evaluadas. En estudios realizados en cultivos de arroz, las cantidades efectivas aplicadas son de 300 kg de silicio, lo que indica que el aporte de compost en este estudio fue bajo (Han *et al.* 2018). Los productos comerciales tuvieron un aporte bajo, así lo demostraron Furcal-Beriguete y Herrera-Barrantes (2013), al identificar que las aportaciones de 100 kg ha⁻¹ de SiO₂ y un líquido concentrado de SiO₂ al 40% en cultivo de trigo, no fue suficiente para obtener efectos positivos. Los valores reportados en este estudio fueron menores (68 a 397 mg L⁻¹ de SiO₂).

CONCLUSIONES

Se obtuvo un compost a partir de *E. hyemale*, *C. papyrus* y *A. sativa* como aportadores de silicio, con características físicas y químicas adecuadas para su aplicación en cultivo de *R. x hybrida*. La aplicación de silicio no tuvo un efecto significativo en la calidad de flor, y no impactó en la disminución del número de *T. urticae*, pero si favoreció un menor número de tallos infestados por dicho ácaro.

LITERATURA CITADA

Alhousari F, Greger M (2018) Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. *Plants* 7: 33. DOI.10.3390/plants7020033

- Almeida RF, Queiroz IDS, Mikhael JE, Oliveira RC, Borges EN (2019) Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8: 203-210.
- Bakhat HF, Bibi N, Zia Z, Abbas S, Hammad HM, Fahad S, Rizwan A, Shah G, Rabbani F, Saeed S (2018) Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. *Crop Protection* 104: 21-34.
- Barje F, Meddich A, El Hajjouji H, El Asli A, Ait G, El Faiz A, Hafdid M (2016) Growth of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in composts of olive oil mill waste with organic household refuse. *Compost Science & Utilization* 24: 273-280.
- Bayu MS, Ullah MS, Takano Y, Gotoh T (2017) Impact of constant versus fluctuating temperatures on the development and life history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology* 72: 205-227.
- Castellanos L, Mello R, Silva CN (2005) El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales* 36: 16-24.
- Chang R, Li Y, Chen Q, Guo Q, Jia J (2019) Comparing the effects of three in situ methods on nitrogen loss control, temperature dynamics and maturity during composting of agricultural wastes with a stage of temperatures over 70 °C. *Journal of environmental management* 230: 119-127.
- Combatt E, Palacio D, Mercado J (2017) Extractores químicos en la determinación de silicio disponible en suelo ácidos, neutros y alcalinos. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 20: 229-239.
- Delgado MDM, Mendoza KL, González MI, Tadeo JL, Martín JV (2019) Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35: 965-977.
- Deshmukh RK, Vivancos J, Guérin V, Sonah H, Labbé C, Belzile F, Bélanger RR (2013) Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in Arabidopsis and rice. *Plant Molecular Biology* 83: 303-315.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2008) Infostat. Software estadístico. Manual del usuario. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 336p.
- Farahani H, Sajedi NA, Madani H, Changizi M, Naeini MR (2020) Effect of foliar-applied silicon on flower yield and essential oil composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Miller) under water deficit stress. *Silicon* 13: 4463-4472.
- Farooq MU, Ahmad KM, Sadique MA, Shabbir F, Khalid MM, Shahzad M (2017) Effect of silicon and gibberellic acid on growth and flowering of gladiolus. *World Journal of Biology and Biotechnology* 5: 19-24.
- Furcal-Beriguete BP, Herrera-Barrantes A (2013) Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana* 24: 357-364.
- Gatarayiha MC, Laing MD, Miller RM (2010) Combining applications of potassium silicate and *Beauveria bassiana* to four crops to control two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *International Journal of Pest Management* 56: 291-297.
- González-Durazno G, Mejía J, Domínguez A, Vásquez G, Cruz RC, Ramírez MG (2019) Obtención y caracterización de una composta rica en silicio. *REIA* 5: 24-28.
- Guadarrama-Nonato A, Mejía J, Ramírez MG (2018) Mineralización de la materia orgánica en suelos con manejo diferencial en cultivo de rosa. *Acta Universitaria* 28: 33-41.

- Han YQ, Wen JH, Peng ZP, Zhang DY, Hou ML (2018) Effects of silicon amendment on the occurrence of rice insect pests and diseases in a field test. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 2172-2181.
- Haouas A, El Modafar C, Douira A, Ibensouda-Koraichi S, Filali-Maltouf A, Moukhli A (2021) Evaluation of the nutrients cycle, humification process, and agronomic efficiency of organic wastes composting enriched with phosphate sludge. *Journal of Cleaner Production* 302: 127051. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127051.
- Hu J, Wu J, Qu X (2018) Decomposition characteristics of organic materials and their effects on labile and recalcitrant organic carbon fractions in a semi-arid soil under plastic mulch and drip irrigation. *Journal of Arid Land* 10: 115-128.
- Kaushik P, Saini DK (2019) Silicon as a vegetable crops modulator-A review. *Plants* 8: 148-166.
- Khosravi A, Rezaei A, Khandan A, Kalate S (2019) Vermicompost and manure compost reduce water-deficit stress in pot marigold (*Calendula officinalis* L. cv. Candyman Orange). *Compost Science & Utilization* 27: 61-68.
- Liu B, Davies K, Hall A (2020) Silicon builds resilience in strawberry plants against both strawberry powdery mildew *Podosphaera aphanis* and two-spotted spider mites *Tetranychus urticae*. *PLoS ONE* 15: e0241151. DOI: 10.1371/journal.pone.0241151.
- Marzi M, Ahbazi K, Kharazi N, Rezaei M (2019) The Influence of Organic Amendment Source on Carbon and Nitrogen Mineralization in Different Soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 177-191.
- Mitani-Uneno N, Yamaji N, Ma JF (2011) Silicon efflux transporters isolated from two pumpkin cultivars contrasting in Si uptake. *Plant Signaling & Behavior* 6: 991-994.
- Naveed M, Sajid H, Mustafa A, Niamat B, Ahmad Z, Yaseen M, Kamran M, Rafique M, Ahmar S, Chen JT (2020) Alleviation of salinity-induced oxidative stress, improvement in growth, physiology and mineral nutrition of canola (*Brassica napus* L.) through calcium-fortified composted animal manure. *Sustainability* 12: 3. DOI: 10.3390/su12030846.
- Rodríguez WE, Flórez VJ (2006) Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. *Agronomía Colombiana* 24: 238-246.
- Román P, Martínez MP, Pantoja A. (2013) Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas-FAO. <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2019.
- Sánchez-Monedero A, Roig A, Paredes C, Bernal MP (2001) Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresearch Technology* 78: 301-308.
- Schaller M, Ehlers TA (2021) Vegetation and climate effects on soil production, chemical weathering, and physical erosion rates, *Earth Surf Dynam. Discuss.* DOI: 10.5194/esurf-2021-22.
- SEMARNAT 2000 NOM-021-RECNAT-2000 Norma Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. Fecha de consulta: 19 de octubre de 2021.
- SEMARNAT (2008) NMX-AA-109-SCFI-2018 Norma Mexicana Humus de lombriz (lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. México <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2020.

- SEMARNAT (2018) NMX-AA-180-SFI-2018 Norma Mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Secretaría de Medio Ambiente Recursos y Naturales. México. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020.
- Steiner A (1984) The universal nutrient solution. Proceedings 6th International Congress on Soil Culture. Wageningen. The Netherlands. pp: 633-650.
- Sun H, Guo J, Duan Y, Zhang T, Huo H, Gong H (2017) Isolation and functional characterization of CsLsi1, a silicon transporter gene in *Cucumis sativus*. *Physiologia Plantarum* 159: 201-214.
- Takahashi E (1978) Silica uptake by plant with special reference to the forms of dissolved silica. *Journal Science Soil Manure* 49: 357-360.
- Vázquez GG, Sabás CC, González HA, Aguilar S, Vázquez LM, Mejía J (2016) Efecto de *Tetranychus urticae* Koch en la calidad del tallo floral de 15 cultivares de rosa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 754: 833-844.
- Zamojska J, Danielewicz J, Jajor E, Wilk R, Horoszkiewicz-Janka J, Dworzanska D, Wegorek P, Korbas M., Bubniewicz P, Ciecierski W, Narkiewicz-Jodko J (2018) The influence of foliar application of silicon on insect damage and disease occurrence in field trials. *Fresenius Environmental Bulletin* 27: 3300-330.