



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

**EFFECTO DEL SILICIO  
EN LAS PRINCIPALES ENFERMEDADES  
FOLIARES DEL ROSAL (*Rosa spp.*)**

**DANIEL LÓPEZ GUIZA**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

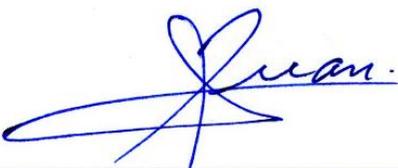
2013

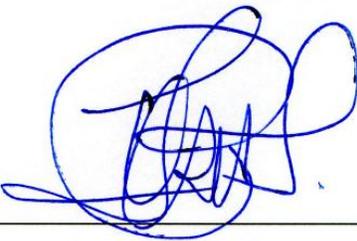
La presente tesis, titulada: **Efecto del silicio en las principales enfermedades foliares del rosal (*Rosa spp.*)**, realizada por el alumno: **DANIEL LÓPEZ GUIZA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:   
**DRA. MARIA DE JESUS YÁÑEZ MORALES**

ASESOR:   
**DR. JUAN VELÁZQUEZ MENDOZA**

ASESOR:   
**DR. CESÁREO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ**

Montecillo, Texcoco, estado de México, Octubre 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de mis estudios de Maestría.

A la Dra. María de Jesús Yáñez Morales por su apoyo e invaluable dirección en la planeación, ejecución y culminación de esta investigación.

Al Dr. Juan Velázquez Mendoza por su amistad, apoyo y acertadas aportaciones y sugerencias que enriquecieron este trabajo de investigación.

Al Dr. Cesáreo Rodríguez Hernández por su apoyo, orientación e innumerables muestras de sencillez y amistad.

A mis abuelitos Rodolfo López Iturbe y María Bernal Vázquez por el apoyo que me han brindado durante mis estudios.

A mi novia Indira Saharai Flores Hernández por el incondicional apoyo tanto en la culminación de este trabajo como en mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A mis compañeros y amigos del Postgrado en Fitopatología que hicieron de mi estancia en el Colegio de Postgraduados una agradable experiencia.

## **DEDICATORIA**

**A mi padre: Daniel M. López Bernal**

**y**

**A mi madre: Alma R. Guisa Peña**

## CONTENIDO

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL, OBJETIVOS Y REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>1</b>
Introducción general .....	1
Objetivos .....	3
Revisión de literatura .....	4
Literatura citada .....	19
<b>CAPITULO 2. IDENTIFICACIÓN DE <i>Podosphaera pannosa</i> Y <i>Peronospora sparsa</i>, LA CENICILLA Y EL MILDIU DEL ROSAL .....</b>	<b>25</b>
Resumen.....	25
Abstract .....	26
Introducción .....	27
Materiales y Métodos.....	28
Resultados y Discusión .....	30
Conclusiones .....	35
Literatura citada .....	36
<b>CAPITULO 3. USO DE SILICIO EN SISTEMA HIDROPONICO DE ROSAL EN INVERNADERO PARA INDUCIR RESISTENCIA O TOLERANCIA A CENICILLA..</b>	<b>38</b>
Resumen.....	38
Abstract .....	39
Introducción .....	40
Materiales y Métodos.....	42
Resultados .....	45
Discusión.....	50
Conclusiones .....	51
Literatura citada .....	52

<b>CAPITULO 4. APLICACIONES FOLIARES DE SILICIO EN LA PRODUCCIÓN DE ROSAL EN INVERNADERO Y EN EL MANEJO DE CENICILLA Y MILDIU .....</b>	<b>53</b>
Resumen.....	53
Abstract .....	54
Introducción .....	55
Materiales y Métodos.....	57
Resultados .....	60
Discusión.....	65
Conclusiones .....	66
Literatura citada .....	67

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>Cuadro 1:</b> Superficie nacional de producción de rosas en invernadero .....	4
<b>Cuadro 2:</b> Principales municipios productores de rosa en el estado de México.....	5
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>Cuadro 1.</b> Comparación de diferencia en nucleótidos de <i>Podosphaera pannosa</i> en <i>Rosa</i> spp. var. Opera en Villa Guerrero, México, con cuatro de ocho secuencias alineadas en el banco de genes de NCBI .....	32
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>Cuadro 1.</b> Comparación de medias de severidad de cenicilla en plantas tratadas con Si.....	47
<b>Cuadro 2.</b> Comparación de medias de la evaluación de toxicidad por silicio .....	47
<b>Cuadro 3.</b> Concentración de Si en plantas de rosal después de cuatro aplicaciones de Si en hidroponía .....	49
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos del experimento foliar.....	58
<b>Cuadro 2.</b> Comparación de medias de la evaluación de aspersiones foliares de Si en rosal .....	61
<b>Cuadro 3.</b> Resultados del análisis de hojas asperjadas con silicio.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

### CAPITULO 1

- Figura 1.** Infección de cenicilla en rosal. (A) Hoja con colonias. (B) Tallo infectado. (C) Pétalos infectados. (D) Pedúnculo distorsionado por daño. (E, F, G) Conidióforos y conidios en cadena de *Podosphaera pannosa*; barra = 20  $\mu\text{m}$  .....31
- Figura 2.** Árbol filogenético de *Podosphaera pannosa*. Variabilidad mostrada con secuencias de México (KF753689 y KF753690) y las secuencias de otros países. *Leveillula taurica* fue la raíz. VG = Villa Guerrero, México. .... 32
- Figura 3.** Infección de mildiu en rosal. (A) Síntomas en hoja. (B) Sintomatología en tallo. (C) Defoliación de tallo y reducción de tamaño y apertura de botón floral. (D) Esporangióforo; barra = 50  $\mu\text{m}$  (E) Puntas bifurcadas de esporangióforo; barra = 20 $\mu\text{m}$  (F) Esporangios adheridos a esporangióforo; barra = 20  $\mu\text{m}$ ..... 34

### CAPITULO 2

- Figura 1.** Tratamientos de Si en la solución nutritiva del rosal en hidroponía. (A) Testigo. (B) 25, (C) 50, (D) 100, (E) 150, (F) 200, (G) 300 y (H) 400 mg Si L<sup>-1</sup>. .... 46
- Figura 2.** Planta con tratamiento de 400 mg L<sup>-1</sup> de Si en solución nutritiva en hidroponía. (A) Primer semana. (B) Segunda semana. (C) Tercer semana. (D) Cuarta semana. .... 48
- Figura 3.** Correlación de dosis de Si aplicado a la solución nutritiva de rosal y concentración en planta total. .... 49

### CAPITULO 3

- Figura 1.** Comportamiento de los tratamientos de silicio y fungicida. Variedad ‘Opera’: (A) testigo, (C) 300 mg L<sup>-1</sup>, (E) fungicida. Variedad ‘Grande Classe’: (B) testigo, (D) 300 mg L<sup>-1</sup>, (F) fungicida ..... 62
- Figura 2.** Correlación de dosis de Si aplicado foliarmente y su concentración en hoja. .... 63
- Figura 3.** Correlación de dosis de Si aplicado foliarmente y su concentración en hoja. .... 64

# EFFECTO DEL SILICIO EN LAS PRINCIPALES ENFERMEDADES

## FOLIARES DEL ROSAL (*Rosa* spp.).

Daniel López Guisa, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

### RESUMEN

La cenicienta y mildiu del rosal son las enfermedades más comunes que los productores deben controlar en invernadero en Villa Guerrero, México. El silicio (Si) se planteó como estrategia alternativa para control de dichas enfermedades. Los objetivos fueron: verificar la especie de cenicienta y mildiu, establecer un experimento en hidroponía para evaluar el control de cenicienta por el uso de Si en la solución nutritiva del rosal, evaluar el efecto de fitotoxicidad por Si y por último determinar si el Si controla la cenicienta y el mildiu al ser asperjado foliarmente y qué efecto tiene sobre el rendimiento. Se confirmó a *Podosphaera pannosa* como la especie de cenicienta y a *Peronospora sparsa*, mildiu. En el caso de cenicienta, se obtuvieron dos secuencias (GenBank No. KF753689 y KF753690) que se alinearon en NCBI con la misma especie. Para el mildiu, la secuencia generada (GenBank No. KF541660) mostró similaridad de 99.1 % con *P. sparsa*, esta última se identificó por primera vez en México y se reportó en la revista *Journal of Plant Pathology* (en prensa). A concentraciones de 150 mg Si L<sup>-1</sup> en la solución nutritiva la severidad de cenicienta no superó 2 %, mientras que el testigo tuvo 18 % de daño. En el caso de fitotoxicidad por Si, a partir de una concentración de 400 mg Si L<sup>-1</sup> las plantas tuvieron síntomas de toxicidad. En cuanto a las aspersiones foliares se encontró que a 300 mg Si L<sup>-1</sup> hubo control de cenicienta. En lo que respecta al porcentaje de mildiu, no existieron diferencias significativas entre los siete tratamientos. Se encontró que estadísticamente no hay diferencia en el rendimiento con aplicaciones de Si durante 10 semanas.

**Palabras clave:** control, *Peronospora sparsa*, *Podosphaera pannosa*, *Rosa* spp, silicio.

# EFFECT OF SILICON IN THE MAIN FOLIAR DISEASES OF ROSES (*Rosa* spp.)

Daniel López Guisa, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

## ABSTRACT

Powdery and Downy mildew of roses are the most common diseases producers have to control in greenhouse in Villa Guerrero, Mexico. Silicon (Si) was suggested as an alternative control measure for such diseases. The objectives were to verify the species of powdery and downy mildew, establish a hydroponic experiment to evaluate the control of powdery mildew by supplying Si to the nutrient solution of roses, evaluate the effect of Si toxicity and last, to determine if Si controls powdery and downy mildew when sprayed on roses and the effect this would have on yield. *Podosphaera pannosa* was confirmed as the species for powdery mildew and *Peronospora sparsa* for downy mildew. For powdery mildew two sequences were obtained (GenBank No. KF753689 and KF753690) that were aligned in NCBI with the same species. For downy mildew, the generated sequence (GenBank No. KF541660) had 99.1 % similarity with *P. sparsa*, this was the first time downy mildew was identified in Mexico and it was reported in Journal of Plant Pathology (in print). At concentrations of 150 mg Si L<sup>-1</sup> in the nutrient solution the severity of powdery mildew did not exceed 2 %, while the control test had 18 % of damage. In the case of toxicity by Si, at concentrations of 400 mg Si L<sup>-1</sup> or more the plants showed symptoms of toxicity. For the foliar sprays of Si, at 300 mg Si L<sup>-1</sup> powdery mildew was controlled. There were no statistical difference between the seven treatments of Si for control of downy mildew and the same occurred for yield after 10 weeks of Si foliar sprays.

**Key words:** *Peronospora sparsa*, *Podosphaera pannosa*, silicon, *Rosa* spp., control.

# **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL, OBJETIVOS Y REVISIÓN DE LITERATURA**

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

El estado de México ocupa el primer lugar como región productora de rosal (*Rosa* spp.) en invernadero para flor de corte, teniendo como principal zona el distrito de Coatepec Harinas, el cual destinó una superficie de 680 ha en 2012 (SIAP, 2012). En tal distrito, sobresale el municipio de Villa Guerrero que en 2012 ocupó el lugar 16 de los municipios con mayor valor agrícola en el país (SIAP, 2012a).

El cultivo de rosal en Villa Guerrero se consolida como una flor ornamental muy estimada, al ser una de las flores más vendidas en el mundo, además de su alta rentabilidad (Larson, 2004). Sin embargo, como en cualquier cultivo, existen factores limitantes entre los que destacan los ambientales, económicos, plagas y enfermedades. Las enfermedades conocidas como la cenicilla y mildiu del rosal son las más importantes (Horst y Cloyd, 2007). Debido a la importancia de la estética en la flor de corte, los productores implementan aplicaciones de fungicidas para el manejo de estas enfermedades.

El rosal es un cultivo perenne que se somete a ciclos de producción continuos en donde se cosecha a diario tallos para venta. La vida útil de las variedades cultivadas puede ser de hasta 18 años, dependiendo de la demanda en mercado de dichas variedades. Durante este tiempo en la región de Villa Guerrero se aplican químicos para el control de las enfermedades dos veces por semana e incluso tres cuando la incidencia es severa. Estas aplicaciones no siempre son acertadas o adecuadas, llevando al desarrollo de resistencia por parte de los patógenos al ser expuestos a los mismos químicos continuamente; y a poner en riesgo la salud de los habitantes de las

regiones florícolas, debido a la contaminación del agua, aire y suelo por el uso excesivo de agroquímicos.

Por lo anterior, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para el manejo de enfermedades en el cultivo de rosal. Entre ellas, se emplea el Si como medio de control de enfermedades. El silicio no es un nutrimento esencial en las plantas; sin embargo, se reportó que favorece el desarrollo de las plantas bajo situaciones de estrés, como sería el ataque de patógenos (Epstein, 2009). Se confirmó que el silicio (Si) reduce la incidencia y severidad de algunas enfermedades fungosas en gramíneas, hortalizas y algunas ornamentales, como el rosal (Shetty *et al.*, 2012). Por lo anterior, se consideró sustantivo profundizar el conocimiento del efecto del Si sobre enfermedades foliares en el rosal.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

1. Verificación taxonómica de cenicienta y mildiu del rosal (*Rosa* spp.) y evaluación del efecto del silicio en el desarrollo de las plantas y control de las enfermedades.

### Objetivos específicos

1. Verificación taxonómica de la especie de cenicienta y mildiu del rosal.
2. Determinar el nivel máximo de silicio aplicable a la solución nutritiva de rosal en hidroponía sin causar fitotoxicidad y a la cual se controle la cenicienta del rosal.
3. Determinar dosis de silicio foliar para controlar el desarrollo de enfermedades en rosal.

### Hipótesis

- La cenicienta y mildiu del rosal son causados por *Podosphaera pannosa* y *Peronospora sparsa*.
- El silicio afecta el desarrollo de las plantas a dosis altas.
- El silicio controla la cenicienta y mildiu del rosal.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del rosal

Los estados de la República Mexicana que se dedican a la producción de rosa en invernadero son Guerrero, Jalisco, México y Querétaro, contando con una superficie sembrada de 0.25, 8, 680 y 24 ha, respectivamente. La superficie nacional plantada con rosas de invernadero ha incrementado año tras año de 2006 a 2012 en cada ciclo agrícola (Cuadro 1) (SIAP, 2012).

**Cuadro 1:** Superficie nacional de producción de rosas en invernadero<sup>¶</sup>.

Año	Superficie plantada (ha)	Valor de la producción*
2006	485.20	767,184
2007	662.61	1,003,504
2008	687.81	835,127
2009	696.41	929,080
2010	698.41	802,628
2011	706.41	1,072,135
2012	712.25	1,225,457

<sup>¶</sup> SIAP, 2012; \*miles de pesos

El rosal es uno de los cultivos más rentables en México, el valor de la producción por hectárea para 2012 fue de 1,712,540 pesos, mientras que para los cultivos de jitomate y aguacate fueron de 235,220 y 109,970 pesos respectivamente. Otro factor de importancia es la generación de empleos ya que en 2010 se estimó que el sector florícola generó alrededor de 188 mil empleos permanentes, 50 mil eventuales y 1 millón de indirectos (SIAP, 2012c)

El estado de México ocupa el primer lugar como región productora de rosa para flor de corte en invernadero. Sobresaliendo el municipio de Villa Guerrero que destinó una superficie de 390 ha en 2012 (Cuadro 2) (SIAP, 2012b).

**Cuadro 2:** Principales municipios productores de rosa en el estado de México.

Municipio	Superficie plantada (ha)
Villa Guerrero	390
Tenancingo	170
Malinalco	45
Coatepec Harinas	31
Zumpahuacán	21
Donato Guerra	15
Ixtapan de la Sal	4
Valle de Bravo	4

### **Enfermedades del rosal**

El rosal se somete a ciclos intensivos de producción, ya que se mantienen en ciclos continuos de producción durante toda su vida útil que puede ser hasta de 18 años, dependiendo de la demanda en mercado. Esto se logra aprovechando el clima de las regiones florícolas, o bien, modificando el mismo con manejo de invernaderos. En ambos casos, el ataque por patógenos es inminente, por lo que es necesario llevar a cabo programas fitosanitarios rigurosos para mantener al cultivo en estado óptimo, y así, obtener cosechas de calidad. De las enfermedades que atacan al rosal, existen dos que son de alta importancia en la producción: la cenicilla y el mildiu. Estas enfermedades comparten la característica de ser altamente virulentas cuando las condiciones climáticas les favorecen.

#### **Cenicilla**

La cenicilla es probablemente la enfermedad más ampliamente distribuida y frecuente en el rosal. El agente causal se identificó en 1819; sin embargo, la enfermedad se encontraba presente mucho antes y ahora se encuentra en todos los países donde se cultivan rosas a cielo abierto o en invernadero (Leus *et al.*, 2006).

Theophrastus fue el primero en describir la cenicilla en el rosal alrededor del año 300 A.C., pero Wallroth en 1819 fue el primero en describir al hongo causante de la enfermedad como *Alphitomorpha pannosa*. Después fue transferido al género *Erysiphe* como *E. pannosa* (Wallr.) Fr. en 1829. Para 1851 fue descrito y ubicado en el género *Sphaerotheca* y debido a cambios en la nomenclatura de hongos en años recientes, el patógeno ahora es conocido como *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary (Leus *et al.*, 2006; Horst y Cloyd, 2007).

El patógeno *P. pannosa* se clasifica como sigue (NCBI, 2013a):

Dominio: Eukaryota

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Sub Filo: Pezizomycotina

Clase: Leotiomycetes

Orden: Erysiphales

Familia: Erysiphaceae

Género: *Podosphaera*

Especie: *P. pannosa*

Una vez que *P. pannosa* realiza la infección primaria, forma un micelio que crece sobre sépalos, pétalos, tallos y hojas, enviando haustorios redondos hacia las células epidérmicas de esos tejidos (Agrios, 2005). El micelio (hialino) primario es blanco y el micelio secundario, que es denso y forma colonias de apariencia lanosa, puede ir de una coloración blanca a grisácea, de la cual se deriva el nombre de la enfermedad. Las hifas primarias son hialinas, de pared delgada, lisas, 3-9  $\mu\text{m}$  de anchas; las secundarias son más ásperas, escasamente ramificadas, de pared gruesa, 4.5-8  $\mu\text{m}$  de ancho. Los apresorios hifales son casi indistintos como protuberancias. Conidióforos (hialinos) emergen de células madres hifales, pueden encontrarse en la parte central de esta o no, son erectos, pueden medir hasta 210  $\mu\text{m}$  de largo; célula basal recta, subcilíndrica, 40-80  $\times$  7.5-12  $\mu\text{m}$ , seguida por una o dos células más cortas, formando conidios catenulados.

Los conidios (hialinos) son de forma elipsoide-ovoide a doliformes,  $20-33 \times 10-19 \mu\text{m}$  (Braun y Cook, 2012; MycoBank, 2013a).

Con la llegada del tiempo de frío, el hongo cesa producción de conidios y forma casmotecios. Estos se encuentran inmersos en las tramas miceliales localizadas sobre los tejidos de la planta (Agrios, 2005). Al principio estos casmotecios inmaduros son redondos y blancos, pero más tarde se empardecen y finalmente adquieren un color negro cuando llegan a la madurez, midiendo  $70-115 \mu\text{m}$  en diámetro y raramente se encuentran más grandes (Schumann y D'Arcy, 2009).

Los casmotecios maduros presentan apéndices miceloides a partir del plano ecuatorial; en la parte inferior no suelen ser numerosos, a menudo característicamente serpenteantes y contorsionados, entrelazados con el micelio, cortos, al menos más cortos que el diámetro del casmotecio, a veces rudimentarios, pueden verse apéndices más largos, pero raramente excediendo 0.5-2(-3) veces el diámetro del casmotecio. Los apéndices, de  $3-8 \mu\text{m}$  de ancho, son hialinos al principio y maduran a un color amarillento a café, más pálido hacia el ápice, septados, las paredes lisas a ligeramente ásperas, delgadas o a veces moderadamente gruesas en la mitad inferior (Braun y Cook, 2012).

Las ascas son hialinas y ampliamente elipsoides a ovoides,  $70-100 \times 50-80 \mu\text{m}$ , contienen cuatro a ocho ascosporas hialinas. Dichas ascosporas,  $16-28 \times 9-20 \mu\text{m}$ , de forma elipsoide a ovoide, continúan desarrollándose durante el otoño y en la primavera llegan a la madurez (Braun y Cook, 2012). Durante la primavera, los casmotecios absorben agua y se contraen. El asca individual de cada casmotecio se expone, abre, y descarga sus ascosporas maduras, las cuales son diseminadas por el viento (Agrios, 2005). Estas ascosporas se comportan exactamente igual a los conidios con respecto a su germinación, infección y formación de estructuras subsecuentes.

## **Ciclo de la enfermedad y epidemiología**

En rosales cultivados a la intemperie, el hongo hiberna principalmente en forma de micelio en las yemas de esas plantas. A finales de la estación de crecimiento, ocasionalmente forma casmotecios sobre hojas, pétalos y tallos (particularmente en torno a las espinas). En rosales cultivados bajo invernadero, el patógeno persiste casi exclusivamente en forma de micelio y conidios (Agrios, 2005).

Las ascosporas o conidios del hongo son fácilmente diseminadas por corrientes de viento hacia tejidos verdes y jóvenes de las plantas, y si la temperatura y humedad relativa (HR) son suficientemente altas, las esporas germinan. Bélanger *et al.* (2002), indican que la germinación de conidios es baja cuando la humedad sobre la superficie de las hojas es alta o baja, pero mejora cuando la humedad se encuentra a nivel medio. A temperatura de 20 °C y HR cerca del 100 % inicia la germinación de los conidios, 2-4 h después de haber sido depositados sobre el tejido vegetal, se produce un pequeño tubo germinativo en uno de los extremos del conidio y al transcurrir 6 h se produce un apresorio, el que a su vez emite un fino filamento que penetra la cutícula, ingresa a una célula epidérmica y genera un haustorio que puede ser detectado después de 16-20 h. Se desarrolla más micelio sobre la superficie del tejido, y haustorios adicionales se forman en las células epidérmicas en un lapso de 20-24 h (Horst y Cloyd, 2007).

Al transcurrir 48 h las hifas empiezan a desarrollarse en el exterior del tejido vegetal, se forman los conidióforos, en la mayoría de los casos un conidio se produce de un conidióforo cada día, aunque bajo las condiciones óptimas una cadena de conidios puede formarse en tan solo 72 h. El conidio liberado madura 24 h después, formando nuevas colonias que producen nuevos conidióforos y conidios; efectuando así contaminaciones sucesivas. Todas las estructuras del hongo, excepto los haustorios, se localizan en la parte externa de los órganos vegetales

infectados, y solamente los haustorios que se encuentran en el interior de las células son los responsables de la nutrición del patógeno (Glawe, 2008).

Los conidios muestran un ciclo diurno de maduración y liberación. En días secos, el número de conidios liberados aumenta debido a que la HR disminuye; el número de conidios en el ambiente llega a un pico de medio día a las primeras horas de la tarde y desciende a medida que los conidióforos se acortan por conidiogénesis retrogresiva (Horst y Cloyd, 2007).

Las condiciones óptimas para el desarrollo de la cenicilla son durante la noche, temperatura de 15.5 °C y HR de 90-99 % que permite la óptima formación de conidios, germinación de los conidios y la infección, condiciones de 26.7 °C y HR del 40-70 % durante el día favorecen la maduración y liberación de conidios. Varios ciclos repetitivos de estas condiciones son necesarios para el desarrollo de una epidemia, además de la susceptibilidad del tejido vegetal hospedante, temperatura, HR y presencia de agua sobre los tejidos influyen en gran parte en el crecimiento de *P. pannosa* (Bélanger *et al.*, 2002).

### **Sintomatología**

Todas las parte aéreas de la planta pueden ser atacadas por la cenicilla, siendo las hojas y brotes jóvenes los más afectados. En el haz de hojas jóvenes aparecen áreas ligeramente elevadas de aspecto pustuloso, frecuentemente con una coloración rojiza sobre las que se forman colonias como manchas blancas y pulverulentas, las que están constituidas por las estructuras del hongo patógeno (micelio, conidióforos, conidios) (Horst y Cloyd, 2007). Cuando existen condiciones favorables, la colonia se extiende por toda la hoja haciendo que el tejido aparezca curvado o retorcido, provocando muchas veces su caída prematura. Las hojas viejas pueden no deformarse, pero el crecimiento del hongo que puede cubrir áreas circulares e irregulares por fusión de colonias (Gallegos *et al.*, 1999).

El hongo puede desarrollarse principalmente en los tejidos de tallos jóvenes suculentos, especialmente en la base de las espinas; también puede atacar a flores y crecer en los pedúnculos, sépalos y receptáculos, especialmente cuando el botón floral está cerrado (Olascoaga, 1986). Por lo común, sobre los vástagos verdes y jóvenes aparecen manchas blancas (colonias) constituidas por hifas del hongo, que son similares a las de las hojas y que coalescen llegando a cubrir totalmente los ápices en crecimiento; debido a la infección, estos ápices se arquean o encorvan. En ocasiones, el hongo ataca las yemas de la planta y las cubre de colonias, con ello, no llegan a diferenciarse o se abren inadecuadamente; la infección avanza hasta los verticilos florales, los cuales se decoloran, atrofian y finalmente mueren (Agrios, 2005).

### **Importancia**

El daño severo de la cenicilla reduce el crecimiento de hojas, valor estético de las plantas y eficiencia fotosintética, de modo que limita el crecimiento de la planta y comercialización de las flores cortadas (Olascoaga, 1986). Los daños por la cenicilla pueden ser desastrosos, afectando la calidad del follaje, tallos y botones (Gallegos *et al.*, 1999). Es la enfermedad más común de flores, follaje y tallo del rosal. Por ello, es una de las más importantes enfermedades de este cultivo.

### **Mildiu**

Esta enfermedad se conoce también como mildiu veloso, mildiu, y peronospora. El mildiu del rosal fue reportado por primera vez en 1862 en Inglaterra, de ese tiempo a 1900 se difundió por toda Europa y llegó a EUA en 1880; se encuentra distribuida por varios países del mundo. Esta enfermedad es causada por *Peronospora sparsa* Berk (Horst y Cloyd, 2007) y es uno de los patógenos más limitantes en los cultivos de rosa en invernadero en el mundo (Ayala-

Vásquez *et al.*, 2008).

*P. sparsa* se clasifica como sigue (NCBI, 2013):

Dominio: Eukaryota

Reino: Stramenopiles

Clase: Oomycetes

Orden: Peronosporales

Familia: Peronosporaceae

Género: *Peronospora*

Especie: *P. sparsa*

El micelio se desarrolla dentro de las células del tejido vegetal con haustorios filiformes. Por el envés de las hojas, emergiendo a través de los estomas, se forman esporangióforos hialinos erectos,  $490-600 \times 4-6 \mu\text{m}$ , ramificados de 3-4 veces, con terminaciones dicotómicas y crecimiento de esporangios en los extremos puntiagudos,  $12-16 \mu\text{m}$ , de sus ramas. Los esporangios, hialinos a amarillentos, son elipsoidales a casi esféricos,  $18-24 \times 16-20 \mu\text{m}$  se producen abundantemente. Se pueden encontrar oosporas,  $22-30 \mu\text{m}$  de diámetro, con una pared exterior hialina gruesa,  $2 \mu\text{m}$ ; en hojas infectadas, sépalos, botones florales, y tallos. El agente causante puede pasar de una temporada a otra en tallos como micelio latente sin oosporas, mas la literatura sugiere que las oosporas son el inóculo primario para la hibernación (MycoBank, 2013).

### **Ciclo de la enfermedad y epidemiología**

El patógeno esporula con HR superior a 90 %, posteriormente la liberación de esporangios en el aire se favorece por fluctuaciones de la misma (Gallegos *et al.*, 1999). Los esporangios que son depositados sobre tejidos susceptibles germinan óptimamente a  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Con temperatura inferior a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  o superior a  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  no ocurre germinación (Horst y Cloyd, 2007).

En presencia de agua libre sobre el tejido vegetal la germinación de los esporangios toma 4 h o menos y puede ser en menores horas cuando la HR es superior a 90 %. Los esporangios

germinados dan lugar a la penetración e infección del hospedante y a una nueva generación de esporangios en 10-14 d, en condiciones de 15-18 °C y HR superior al 85 %. La viabilidad de esporangios no es afectada por condiciones ambientales secas, pudiendo sobrevivir sobre hoja seca caída por espacios de 2 a 4 semanas. La severidad de la enfermedad depende en gran medida de las condiciones ambientales favorables al crecimiento y propagación del patógeno, razón por la cual en cultivos de invernaderos es mucho más grave cuando la HR está sobre 85 % y temperatura alrededor de 18 °C o menos (Gallegos *et al.*, 1999).

### **Sintomatología**

Los síntomas varían de acuerdo con la edad de la hoja, siendo más distintivos en las maduras. En las hojas más jóvenes se desarrollan pequeñas áreas rojizas o púrpuras que deforman la lámina foliar. En las hojas maduras se forman grandes zonas de contorno irregular, a veces poligonal, de color verde pálido que luego se torna en rojizo o café oscuro. En este estado de desarrollo sintomatológico las hojas pueden caer con solo tocarlas o toman una coloración amarillenta en la que se destacan zonas discretas de tejido verde sano, que se observan como islas verdes (Horst y Cloyd, 2007).

El patógeno esporula sobre áreas del envés de la hoja que corresponden con las zonas afectadas observables en el haz. La esporulación es abundante en condiciones de alta HR, pero escasa y difícil de detectar en condiciones no favorables. Sobre los tallos y pedúnculos aparecen lesiones de tamaño variable, hasta de 2 cm de longitud, con un color que varía entre púrpura y negro. Lesiones parecidas, así como necrosis de los ápices, se desarrollan sobre sépalos (Gallegos *et al.*, 1999).

El mildiu difiere de la cenicilla en que este patógeno invade y mata los tejidos de la planta. Los esporangióforos y esporangios se producen en el envés de las hojas infectadas. Por el contrario, la cenicilla se muestra sobre el haz y su color es blanco (López, 1981).

### **Importancia**

Este patógeno infecta hojas, tallos, pedúnculos, sépalos y pétalos florales pudiendo ocasionar severas defoliaciones y muerte de brotes, razón por la que su importancia es significativa dentro de la producción de rosas para exportación (Gallegos *et al.*, 1999).

El mildiu es una enfermedad que suele causar pérdidas severas en los cultivos de rosas. Especialmente en plantas jóvenes donde puede causar un daño y destruir de 40-90 % de las plantas jóvenes, generando grandes pérdidas en el rendimiento al defoliar plantas enteras cuando se presenta con severidad. En cuanto a tallos en producción, puede producir pérdidas hasta de 100 % al afectar su calidad (Quiroga y Arbeláez, 2004).

## **Manejo de las enfermedades de rosal**

### **Cenicilla**

El uso de variedades resistentes se señala como medida de control para cenicilla; sin embargo, la mayoría de las nuevas variedades de rosa muestran un nivel de resistencia que no es estable, ya que algunas de ellas son resistentes en algunas áreas geográficas, pero susceptibles en otras o incluso en una misma localidad; y son resistentes algunos años y susceptibles en otros. Esta variabilidad en la resistencia del rosal quizá se deba a la presencia o predominio de diferentes razas del patógeno en diferentes áreas geográficas o durante diferentes etapas de crecimiento (Agrios, 2005).

El manejo de temperatura y humedad contribuye en gran medida al control ya que el desarrollo de cenicienta es afectado adversamente por la presencia de láminas de agua sobre la superficie de las hojas. Este efecto se nota cuando las hojas se mojan inmediatamente después de depositar el conidio. Aparentemente los conidios no pueden germinar en presencia de láminas de agua (Horst y Cloyd, 2007). Un ejemplo de la influencia del agua fue el caso durante los años 1930-1940, cuando el ácaro de los rosales se controlaba por continua aspersión de agua, raramente se presentaban problemas de cenicienta, aunque se presentaban severos problemas de mancha negra causada por *Diplocarpon rosae*. De 1940 al presente, la aspersión de acaricidas y aerosoles han sustituido este procedimiento; la mancha negra ha desaparecido esencialmente en rosas de invernadero, pero la cenicienta vuelve a convertirse en un serio problema.

En lo que respecta al control biológico y orgánico, se ha dado a conocer que varios hongos como *Ampelomyces quiqualis*, *Cladosporium oxysporum* y *Verticillium lecanii*, así como el trips del tabaco *Thrips tabaci*, parasitan o son antagonistas de la cenicienta del rosal. Aun cuando estos métodos de control parecen ser prometedores, hasta ahora no se han estudiado lo suficiente para aplicarlos al control práctico de la cenicienta (Agrios, 2005). Existen buenas medidas de control contra esta enfermedad, pero aunque sea posible detener al hongo, la hoja atacada queda distorsionada. Por ello, las medidas deben ir encaminadas a prevenir su aparición.

### **Mildiu**

En el control de esta enfermedad se recomienda disminuir la HR con ventilación y circulación de aire. Elevar la temperatura a 27 °C durante las horas más cálidas del día y la tarde disminuye en gran cantidad los riesgos de incidencia del patógeno. Las caídas repentinas en la temperatura de los invernaderos aumenta la HR y esta no debe ser mayor a 85 % durante un

periodo mayor a 3 h para restringir la infección. En el invernadero se debe evitar la presencia de goteras y pisos excesivamente húmedos (Horst y Cloyd, 2007).

Se puede prevenir el desarrollo severo de esta enfermedad manteniendo limpieza dentro de los invernaderos, recolectando y destruyendo hojas, tallos y flores infectadas así como todas aquellas partes de la planta que se sospeche estén infectadas (Gallegos *et al.*, 1999). Finalmente se deben realizar tratamientos preventivos con fungicidas, cuidando siempre de dar una adecuada rotación de estos con los que posean diferente mecanismo de acción.

### **Silicio como alternativa para control**

El rosal es un cultivo valorado por su estética y el reto para los productores a cumplir con esta cualidad, los ha llevado a un uso excesivo de fungicidas. Estas aplicaciones químicas, muchas veces son inadecuadas o inoportunas por la falta de conocimiento del patógeno o de los mecanismos de acción de los productos. Lo anterior ha dado resultado a que algunos productos pierdan su eficiencia en controlar las enfermedades y esto ha llevado a los productores a buscar nuevas alternativas, como el uso de productos orgánicos en el manejo fitosanitario. Uno de los productos que se está introduciendo al mercado de la producción de rosas es el silicio.

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la tierra. Por su fuerte afinidad al oxígeno, el Si existe en la naturaleza como sílice o silicatos, los cuales se combinan con varios metales. El dióxido de silicio comprende 60 % de la corteza terrestre y ocupa más de 50 % del suelo. La concentración de Si en la solución del suelo, como ácido silícico, es de 3.5 a 40 mg L<sup>-1</sup> (Ma y Takahashi, 2002). Por lo tanto, toda planta cultivada en suelo contiene cierto porcentaje de Si, que varía de 1-100 mg g<sup>-1</sup> dependiendo de la especie (Broadley *et al.*, 2012).

En algunas especies, el porcentaje de Si se encuentra a niveles equivalentes a un macronutriente y, en otras, a niveles de un micronutriente; las variaciones son mínimas

dentro de especies de un género (Bauer *et al.*, 2011). Las plantas se consideran acumuladoras de Si, cuando la concentración de este rebasa 1 % en peso seco (Epstein, 1999).

El Si debe encontrarse como ácido silícico en la solución del suelo para que las plantas lo absorban. El acceso se lleva a cabo por difusión y flujo de masas, y esto se afecta por la transpiración de las plantas; algunas excluyen el Si de manera selectiva en la raíz, mientras que otros, como arroz, cebada y pepino, concentran Si de la solución del suelo. Por ejemplo, las plantas de tomate restringen activamente el flujo del elemento de la raíz a los brotes (Datnoff *et al.*, 2007; Bauer *et al.*, 2011).

La bio-silificación de plantas requiere entonces de la absorción de Si, su transporte a los órganos objetivo y su condensación a sílice sólido. El sílice se deposita en la epidermis y células de la vaina de los haces vasculares, en paredes y lúmenes celulares, y en una capa debajo de la cutícula cerosa. La silificación se correlaciona con la tasa de transpiración de los tejidos, debido al movimiento pasivo del ácido silícico con el agua y la polimerización del sílice, cuando el agua se evapora.

El Si no se considera entre los elementos esenciales para las plantas. La diferencia con los macro y micro nutrimentos es que el Si no se necesita incluir al preparar soluciones nutritivas, debido a que la mayoría de plantas crecen y se desarrollan sin presentar síntomas de deficiencia, aun cuando el elemento está ausente (Epstein, 1999). En la región florícola del estado de México se puede encontrar Si como fertilizante foliar o para suelo ya sea en presentación de silicato de calcio (Barrier®;  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) o silicato de potasio (Resistent®;  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ).

Existen diversos estudios que comprueban la importancia de Si en la producción de arroz, ya que aumenta su rendimiento y reduce la severidad de algunas enfermedades (Ma y Takahashi, 2002; Fleck *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2011; Fallah, 2012). En trigo aumenta la tolerancia a

condiciones de salinidad (Tuna *et al.*, 2008) y la resistencia al ataque de bacterias, al promover lignificación de tejidos y participación de enzimas (Silva *et al.*, 2010). Otros trabajos refieren al elemento aliviando situaciones de estrés, producidas por metales pesados, como en canónigo [*Valerianella locusta* (L.) Laterr], canola (*Brassica napus* L.), crucífera (*Arabidopsis thaliana*) y soya [*Glycine max* (L.) Merr.] (Li *et al.*, 2008; Hashemi *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010; Farshidi *et al.*, 2012; Gottardi *et al.*, 2012). Por otro lado, se descubrió que la respuesta de hipersensibilidad al ataque de patógenos es más rápida y efectiva en presencia de ácido silícico en pepino. También existen evidencias de que el Si tiene efecto sobre las plagas insectiles y ácaros de algunos cultivos (Bauer *et al.*, 2011).

Voogt y Sonneveld (2001) señalan que en Holanda, los estudios de Si originaron un auge con la implementación de sistemas hidropónicos en la agricultura, con lo que dedujeron que se desconocían los efectos o beneficios de dicho elemento. En cultivo hidropónico, se encontró que el contenido de Si en los tejidos vegetales era significativamente menor, en comparación con el de plantas cultivadas en suelo. Con base en experimentos aplicando Si a la solución nutritiva, encontraron que en berenjena (*Solanum melongena*), fresa (*Fragaria ananassa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*) y rosal (*Rosa* spp.), la concentración de Si en la planta incrementó al suministrar el elemento, mientras que en otros cultivos la concentración resultó insignificante. En berenjena, pepino y rosa, con la presencia de Si se aumentaba el rendimiento y suprimía la presencia de enfermedades.

Shetty *et al.* (2012), encontraron que en cuatro genotipos de rosa miniatura (99/9496-19, 95/5166-1, 98/8285-1 y Smart), establecidas en sustrato Pindstrup® en invernadero, se redujo la severidad hasta en un 48.9 % al suministrar Si en cantidades de 100 mg L<sup>-1</sup> en el agua de riego. Hwang *et al.* (2005), realizaron aplicaciones de Si a la raíz y en aspersion foliar a rosa (*Rosa*

*hybrida* ‘Pinocchio’) en un sistema hidropónico de lana de roca, sin embargo en la evaluación no se documentó el efecto en hongos fitopatógenos. Aunque cabe mencionar que en los resultados se puso en evidencia otras características que aporta el Si a los cultivos, y que fueron un aumento en longitud y diámetro de los tallos evaluados.

De igual manera, Voogt y Sonneveld (2001), reportaron en rosa (‘Madelon’) en hidroponía un incremento en rendimiento a los tres meses, al aumentar el número de tallos y a los seis meses las diferencias en rendimiento fueron estadísticamente diferentes. La incidencia de cenicilla se monitoreó, sin embargo no se evaluó dado que el productor aplicó fungicidas rutinariamente.

En general a este elemento se le pueden atribuir características como las de: promover fotosíntesis, efectos sobre propiedades de superficie en tejidos, resistencia a herbívoros, resistencia a toxicidad por metales, resistencia a salinidad, reducción de estrés en casos de sequedad y protección a temperaturas extremas (Epstein, 2001).

## LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5a. ed. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 948 p.
- Ayala-Vásquez, M., L. E. Argel-Roldan, S. Jaramillo-Villegas, y M. Marin-Montoya. 2008. Diversidad genética de *Peronospora sparsa* (Peronosporaceae) en cultivos de rosa de Colombia. Acta Biológica Colombiana 13(1): 79-94.
- Bauer, P., R. Elbaum, and I. M. Weiss. 2011. Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function. Plant Science 180: 746-756.
- Bélanger, R. R., W. R. Bushnell, A. J. Dik, and T. L. W. Carver. 2002. The Powdery Mildews: A Comprehensive Treatise. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 292 p.
- Braun, U., and R. T. A. Cook. 2012. Taxonomic Manual of the *Erysiphales*. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, The Netherlands. 707 p.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, J. F. Ma, Z. Rengel, and F. Zhao. 2012. Beneficial Elements. *In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Marschner, P. (ed). San Diego, California, USA. 2012. Elsevier (3 Ed). pp 249-269.
- Datnoff, L. E., F. A. Rodrigues, and K. W. Seebold. 2007. Silicon and Plant Disease. *In: Mineral Nutrition and Plant Disease*. Datnoff, L. E., W. H. Elmer, and D. M. Huber (eds). St. Paul, Minnesota, USA. 2007. APS Press. pp 233-246.
- Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641-64.
- Epstein, E. 2001. Silicon in plants: Facts vs concepts. *In: Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndörfer (eds). Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science. pp 1-15.

- Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155: 155-160.
- Fallah, A. 2012. Silicon effect on lodging parameters of rice plants under hydroponic culture. *International Journal of AgriScience* 2(7): 630-634.
- Farshidi, M., A. Abdolzadeh, and H. R. Sadeghipour. 2012. Silicon alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 1779-1788.
- Fleck, A. T., T. Nye, C. Repenning, F. Stahl, M. Zahn, and M. K. Schenk. 2011. Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany* 62(6): 2001-2011.
- Gallegos, P., R. Merino, H. Orellana, G. Proaño, M. Suquilandia, R. Velastegui, y G. Zurita. 1999. Manual técnico de fitosanidad en floricultura. Universidad Central del Ecuador (UCE) y Asociación Nacional de Productores y/o Exportadores de Flores del Ecuador. Quito, Ecuador. 150 p.
- Glawe, D. A. 2008. The Powdery Mildews: A Review of the World's Most Familiar (Yet Poorly Known) Plant Pathogens. *The Annual Review of Phytopathology* 46: 27-51.
- Gottardi, S., F. Iacuzzo, N. Tomasi, G. Cortella, L. Manzocco, R. Pinton, V. Römheld, T. Mimmo, M. Scampicchio, L. D. Costa, and S. Cesco. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L) Laterr) plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 56: 14-23.
- Hashemi, A., A. Abdolzadeh, and H. R. Sadeghipour. 2010. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 244-253.

- Horst, R. K., and R. A. Cloyd. 2007. Compendium of rose Diseases and Pests. 2nd. ed. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 83 p.
- Hwang, S. J., H. M. Park, and B. R. Jeong. 2005. Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose 'Pinocchio' grown on rockwool and its cut flower quality. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 74: 242–247.
- Larson, R.A. 2004. Introducción a la floricultura. AGT Editor S.A. México D.F. pp 73-94.
- López J., M. 1981. Cultivo del Rosal En Invernadero. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 341 p.
- Lee, S. K., E. Y. Sohn, M. Hamayun, J. Y. Yoon, and I. J. Lee. 2010. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforestry Systems* 80: 333-340.
- Leus, L., A. Dewitte, J. Van Huylenbroeck, N. Vanhoutte, E. Van Bockstaele, and M. Hofte. 2006. *Podosphaera pannosa* (syn. *Sphaerotheca pannosa*) on *Rosa* and *Prunus* spp.: Characterization of Pathotypes by Differential Plant Reactions and ITS Sequences. *Journal of Phytopathology* 154: 23–28.
- Li, J., S. M. Leisner, and J. Frantz. 2008. Alleviation of copper toxicity in *Arabidopsis thaliana* by silicon addition to hydroponic solutions. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 133(5): 670-677.
- Ma, J. F., and E. Takahashi. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands. 281 p.
- Mycobank. 2013. Fungal Databases Nomenclature and Species Bank (Mycobank). *Peronospora sparsa*. Disponible en: <http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?Li>

[nk=T&TableKey=14682616000000063&Rec=15480&Fields=All](#). Consultado el 20 de octubre de 2013.

Mycobank. 2013a. Fungal Databases Nomenclature and Species Bank (Mycobank). *Podosphaera pannosa*. Disponible en: <http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?Link=T&TableKey=14682616000000063&Rec=28281&Fields=All>. Consultado el 20 de octubre de 2013.

NCBI. 2013. National Center for Biotechnology Information (NCBI). Taxonomía de *Peronospora sparsa*. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=70743>. Consultado el 20 de octubre de 2013.

NCBI. 2013a. National Center for Biotechnology Information (NCBI). Taxonomía de *Podosphaera pannosa*. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=62728>. Consultado el 20 de octubre de 2013.

Olascoaga R., A. 1986. Producción de Rosa en invernadero para exportación. Tesis profesional de fitotecnia. UAEM. Toluca, México. pp: 47-51.

Quiroga, B. N. J., y G. T. Arbeláez. 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 (2): 110-118.

Santos, G. R., M. D. Castro N., L. Nogueira R., R. Almeida S., G. Henrique K., and M. Ignacio. 2011. Effect of silicon sources on rice diseases and yield in the State of Tocantins, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy* 33(3): 451-456.

Schumann, G. L., and C. J. D'Arcy. 2009. *Essential Plant Pathology*. Second Edition. APS Press. St. Paul, Minnesota. U.S.A. 369 p.

- Shetty, R., B. Jensen, N. P. Shetty, M. Hansen, C. W. Hansen, K. R. Starkey, and H. J. L. Jorgensen. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology* 61: 120-131.
- SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350). Consultado el 28 de octubre de 2013.
- SIAP. 2012a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los 35 municipios que mayor valor agrícola generan y sus principales cultivos, 2012. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/014-e-ampliado.html>. Consultado el 29 de octubre de 2013.
- SIAP. 2012b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola por estado. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351). Consultado el 29 de octubre de 2013.
- SIAP. 2012c. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). La floricultura en México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/opt/123/90/89.html>. Consultado el 29 de octubre de 2013.
- Silva, I. T., F. Avila R., J. Rogerio O., S. Cerqueira P., C. C. Lage A., P. Ricardino S., and M. Maciel C. 2010. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by silicon. *Journal of Phytopathology* 158: 253-262.
- Tuna, A. L., C. Kaya, D. Higgs, B. Murillo-Amador, S. Aydemir, and A. R. Girgin. 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany* 62: 10-16.

Voogt, W. and C. Sonneveld. 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. *In*:  
Silicon in Agriculture. Datnoff, L. E., G. H. Snyder, and G. H. Korndörfer (eds).  
Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science. pp: 115-131.

## **CAPITULO 2. IDENTIFICACIÓN DE *Podosphaera pannosa* Y *Peronospora sparsa*, LA CENICILLA Y EL MILDIU DEL ROSAL**

### **RESUMEN**

La cenicilla y el mildiu del rosal son las principales enfermedades foliares que afectan la producción de rosal en la región de Villa Guerrero, México. Para determinar los patógenos asociados, se colectó material con presencia de síntomas y signos. En el caso de cenicilla se colectaron en octubre de 2012, 20 hojas de las variedades Grande Classe y Opera en un invernadero comercial; para el mildiu se muestrearon en julio de 2012, 10 hojas y tallos de seis variedades (Conga, Grande Classe, Opera, Polo, Titanic y Vendela). Se observaron en laboratorio las características morfológicas de los patógenos, para su descripción cualitativa y cuantitativa. Para la verificación molecular de especies, se realizó extracción de ADN. Se amplificaron por PCR las regiones internas ITS con los primers ITS4, ITS5 para el caso de cenicilla; para el mildiu se amplificó la región ITS de la rDNA por PCR anidado y se secuenció usando los primers PS3 y PS1. En base a las características morfológicas analizadas, se confirmó a *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary como la especie de cenicilla y a *Peronospora sparsa* Berk como el agente asociado al mildiu del rosal. En el caso de cenicilla, se obtuvieron dos secuencias (GenBank No. KF753689 y KF753690) que se alinearon en NCBI con la misma especie. De ocho secuencias de *P. pannosa* de rosal alineadas en el banco de genes, cuatro tuvieron 100 % de similaridad y las otras 98.9-99.8 % con las secuencias de la especie de estudio; para el mildiu, la secuencia generada (GenBank No. de accesoión KF541660) mostró similaridad de 99.1 % con *P. sparsa* en *Rosa multiflora*, esta última se identificó por primera vez en México y se reportó en la revista Journal of Plant Pathology (en prensa).

**Palabras clave:** cenicilla, mildiu, *Peronospora sparsa*, *Podosphaera pannosa*, rosal.

## ABSTRACT

Rose powdery mildew and downy mildew are the main foliar diseases that affect roses in the region of Villa Guerrero, Mexico. To determine the associated pathogens, leaves and stems with symptoms and signs were collected. For powdery mildew the sampling was carried out in October 2012, collecting 20 leaves of the varieties Grande Classe and Opera in a commercial greenhouse; for downy mildew the sampling was in July 2012, consisting of 10 leaves and stems of six varieties (Conga, Grande Classe, Opera, Polo, Titanic and Vendela). For the quantitative and qualitative description, the morphological characteristics of the pathogens were observed in laboratory. For molecular verification of species, DNA extraction was done. The ITS regions were amplified by PCR with the primers ITS4 and ITS5 for powdery mildew; for downy mildew the ITS region was amplified by nested PCR and sequenced using primers PS3 and PS1. According to the morphological characteristics observed, *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary was confirmed as the species associated with powdery mildew and *Peronospora sparsa* Berk as the associated pathogen with downy mildew in roses. For the powdery mildew, two sequences were obtained (GenBank No. KF753689 and KF753690) that were aligned in NCBI with the same species. From eight sequences of *P. pannosa* in roses in GenBank, four aligned with 100 % of similarity and the other four had 98.9-99.8 % with the sequences of this study; for downy mildew, the generated sequence (GenBank No. KF541660) showed a similarity of 99.1 % with *P. sparsa* in *Rosa multiflora*, this was the first report of downy mildew on roses in Mexico and was reported in the Journal of Plant Pathology (in print).

**Key words:** *Podosphaera pannosa*, *Peronospora sparsa*, powdery mildew, downy mildew, rose.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de rosal es atacado principalmente por dos enfermedades foliares conocidas comúnmente como cenicilla y mildiu del rosal. La cenicilla es causada por un hongo biotrófico y es la enfermedad más ampliamente distribuida y frecuente en rosas cultivadas en invernadero. El agente causal es identificado como *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary (Leus *et al.*, 2006; Horst y Cloyd, 2007). Por otro lado, el mildiu lo causa un oomycete biotrófico identificado como *Peronospora sparsa* Berk (Horst y Cloyd, 2007)

Una vez que *P. pannosa* realiza la infección primaria, forma micelio que crece sobre los tejidos afectando todas las partes aéreas de las plantas (Agrios, 2005). Esto reduce el crecimiento de hojas, eficiencia fotosintética y valor estético de las plantas de modo que limita la comercialización de flores cortadas (Olascoaga, 1986). Por otro lado el mildiu infecta hojas, tallos, pedúnculos, sépalos y pétalos florales, ocasionando severas defoliaciones y muerte de brotes (Ayala-Vásquez *et al.*, 2008). En plantas jóvenes puede causar daño y destruir estas de 40-90 %. En cuanto a tallos en producción, puede producir pérdidas hasta de 100 % al afectar su calidad (Quiroga y Arbeláez, 2004).

El ataque por patógenos en la producción de rosal para flor de corte es inminente, por lo que es necesario llevar a cabo programas fitosanitarios rigurosos para mantener el cultivo sano y lograr producciones de calidad. Para esto, es importante conocer con certeza los patógenos causales de las enfermedades que se pretenden manejar. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue el verificar por taxonomía los patógenos asociados a las enfermedades conocidas como cenicilla y mildiu del rosal en la región de Villa Guerrero, México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio de estudio**

La presente investigación se hizo en Villa Guerrero, México. Se ubica en la parte sur-oriente del estado en las coordenadas geográficas 18° 58' N y 99° 05' O, a 2 160 msnm. Los muestreos de material se realizaron en octubre de 2011 y julio de 2012.

### **Muestreo en campo**

Para cenicilla, en octubre de 2011, se muestrearon en invernaderos comerciales de rosal para flor de corte 20 hojas de las variedades 'Grande Classe' y 'Opera' con sintomatología y presencia de signos para identificar la especie por taxonomía.

En el caso de mildiu, en julio de 2012, se colectaron en invernadero, 10 hojas y tallos de seis variedades (Conga, Grande Classe, Opera, Polo, Titanic y Vendela) con sintomatología común del mildiu de rosal.

### **Caracterización morfológica**

El material colectado se llevó al laboratorio de hongos en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados y con microscopio estereoscópico (Nikon SMZ800®) se observaron los síntomas y signos que presentaron las hojas infectadas naturalmente. Con un microscopio compuesto (Nikon Eclipse E400®) se examinaron en montaje con ácido láctico y observaron a 40X las características morfológicas de 30 conidióforos, células basales y de 100 conidios, para su descripción cualitativa y cuantitativa. La identificación del género y especie se realizó de acuerdo a las claves de Braun y Cook (2012) y Horst y Cloyd (2007) para la cenicilla. En el caso de mildiu, se examinaron de igual manera 40 esporangióforos y 50 esporangios, para su descripción cualitativa y cuantitativa. La identificación del género y especie se realizó de acuerdo a Horst y Cloyd (2007) y MycoBank (2013).

## **Caracterización molecular**

Se tomó una masa de conidios para extracción del ADN con el kit AxyPrep Genomic ADN Miniprep (Axygen Biosciences, USA). Por PCR se amplificaron las regiones internas ITS con los primers ITS4, ITS5 para el caso de la cenicilla. El mildiu requirió de PCR anidado para la amplificación de la región ITS de la rDNA (Lindqvist *et al.*, 1998) y se secuenció usando los primers PS3 y PS1 (Aegerter *et al.*, 2002). El producto de ambos patógenos se secuenció en dos direcciones (White *et al.*, 1990) y se analizó con el programa DNASTAR (2001). Las secuencias obtenidas se depositaron en el banco de genes de NCBI. Para la construcción del árbol filogenético de la cenicilla se tomaron nueve secuencias de NCBI.

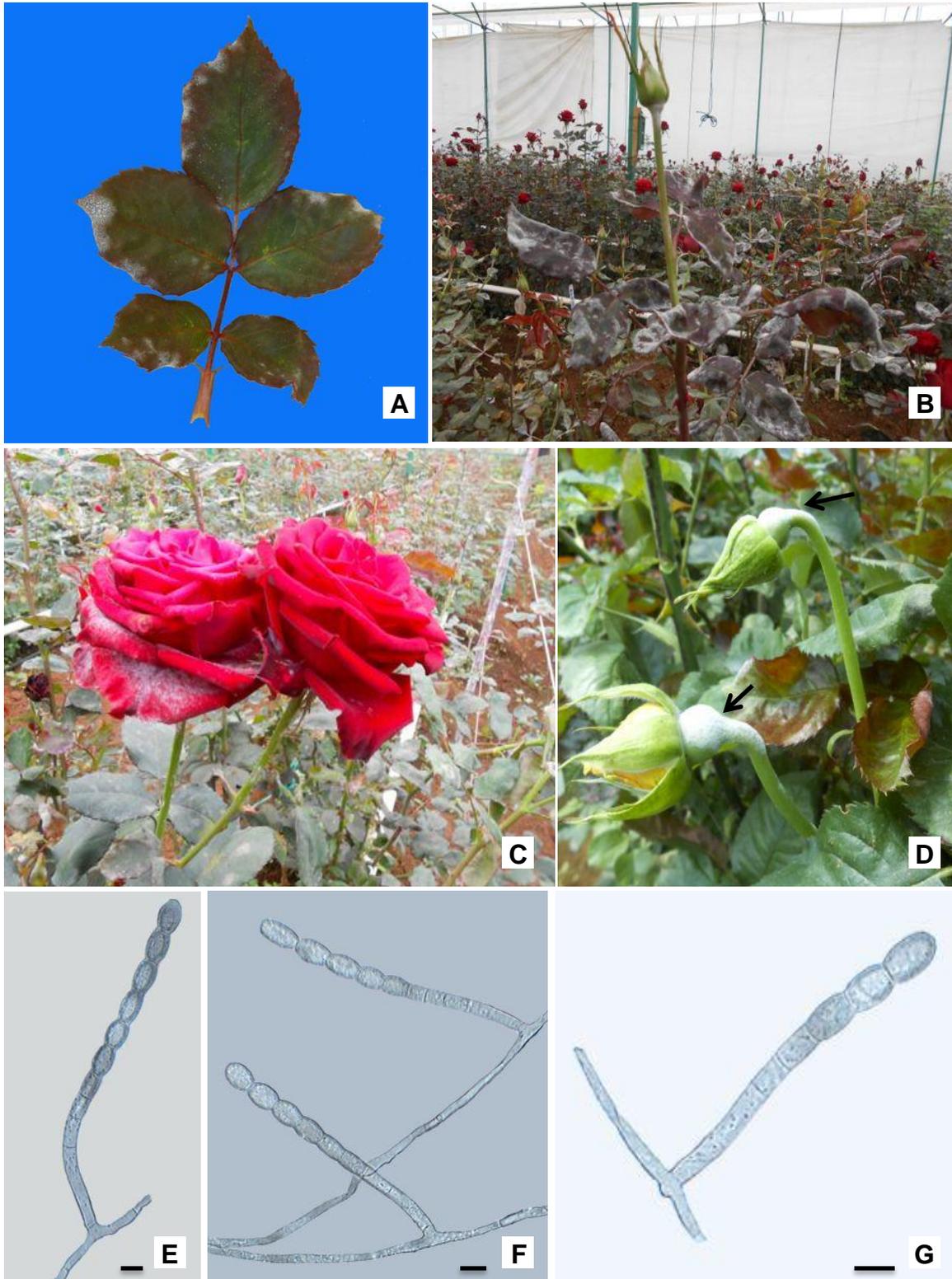
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cenicilla

El muestreo del material con signos de cenicilla presentó mayormente en hojas, colonias superficiales blanquecinas sobre el haz, presentando manchas de tonos rojizos a púrpuras en el envés de las mismas (Figura 1A). Las colonias se formaban por un conjunto de hifas, de las cuales emergen conidióforos erectos de hasta 282  $\mu\text{m}$ , soportados por una célula basal, 55-135  $\times$  6-12  $\mu\text{m}$ , la cual es seguida por una o dos y en algunos casos hasta tres células más pequeñas. Sobre los conidióforos se apreciaron cadenas largas de conidios ( $\pm$  8) elipsoides a ovoides, 20-32  $\times$  12-19  $\mu\text{m}$  (Figura 1E, 1F y 1G). Estos presentaron, en algunos casos, tubos germinativos de laterales a terminales, simples y delgados 4-5  $\mu\text{m}$ . Las características mencionadas concordaron con las claves de Horst y Cloyd (2007) y Braun y Cook (2012).

En base a las características morfológicas que se encontraron, se confirmó a *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary como la especie de la cenicilla en rosal (Horst y Cloyd, 2007; Braun y Cook, 2012).

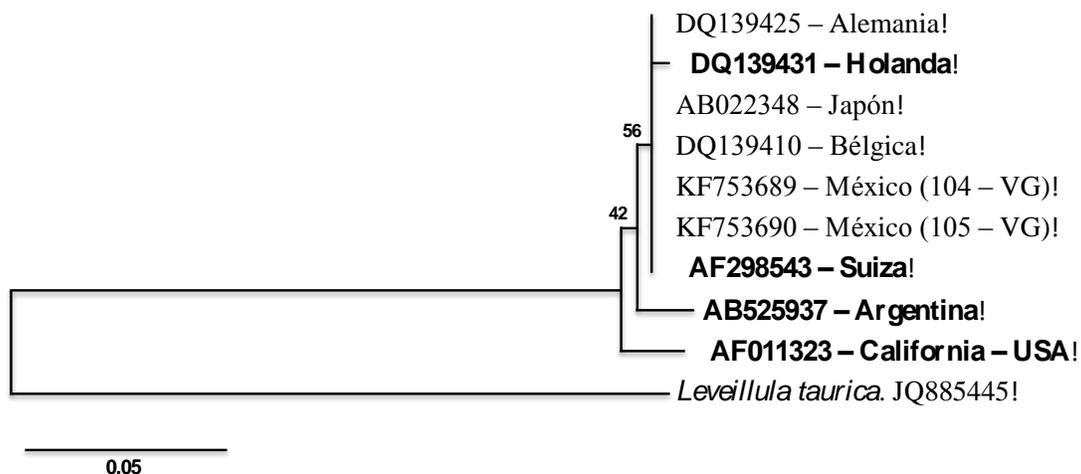
Por PCR se obtuvieron dos secuencias de 529 bp que se alinearon en NCBI con la misma especie. De ocho secuencias de *P. pannosa* de rosal alineadas, cuatro tuvieron 100 % de similitud con las dos secuencias de estudio (GenBank No. de accesoión KF753689 y KF753690). Las otras cuatro difirieron en algunos nucleótidos en regiones ITS1, ITS2 y gen 28S. La AB525937 de Argentina difirió en dos nucleótidos, AF011323 de California, EUA en cuatro; AF298543 de Suiza y DQ139431 de Holanda, en un nucleótido cada una (Cuadro 1). *Leveilulla taurica* se usó como raíz del árbol filogenético (Figura 2). Estas diferencias en poblaciones de *P. pannosa* pueden deberse a condiciones ambientales por la ubicación geográfica, manejo de la enfermedad, diferencias varietales o mutaciones.



**Figura 1. Infección de cenicilla en rosal. (A)** Hoja con colonias. **(B)** Tallo infectado. **(C)** Pétalos infectados. **(D)** Pedúnculo distorsionado por daño. **(E, F, G)** Conidióforos y conidios en cadena de *Podosphaera pannosa*; barra = 20  $\mu$ m.

**Cuadro 1.** Comparación de diferencia en nucleótidos de *Podosphaera pannosa* en *Rosa* spp. var. Opera en Villa Guerrero, México, con cuatro de ocho secuencias alineadas en el banco de genes de NCBI.

Alineación NCBI	País y hospedante	Similaridad (%)	Nucleótidos diferentes	Bases pares substituidas	PCR:ITS región/gen
DQ139425	Alemania <i>Rosa</i> sp.	100			
DQ139410	Bélgica <i>Rosa</i> sp.	100			
DQ139424	Israel <i>Rosa</i> sp.	100			
AB022348	Japón <i>Rosa</i> sp.	100			
AB525937	Argentina <i>Rosa rubiginosa</i>	99.4	2	T por A T por C	ITS 1
AF011323	CA, EUA <i>Rosa</i> sp.	98.9	4	C por T C por “-” C por G G por “-”	ITS 1 ITS 1 ITS 2 28S
DQ139431	Holanda <i>Rosa</i> sp.	99.8	1	A por G	ITS 1
AF298543	Suiza <i>Rosa</i> sp.	99.6	1	C por “-”	28S



**Figura 2.** Árbol filogenético de *Podosphaera pannosa*. Variabilidad mostrada con secuencias de México (KF753689 y KF753690) y las secuencias de otros países. *Leveillula taurica* fue la raíz. VG = Villa Guerrero, México.

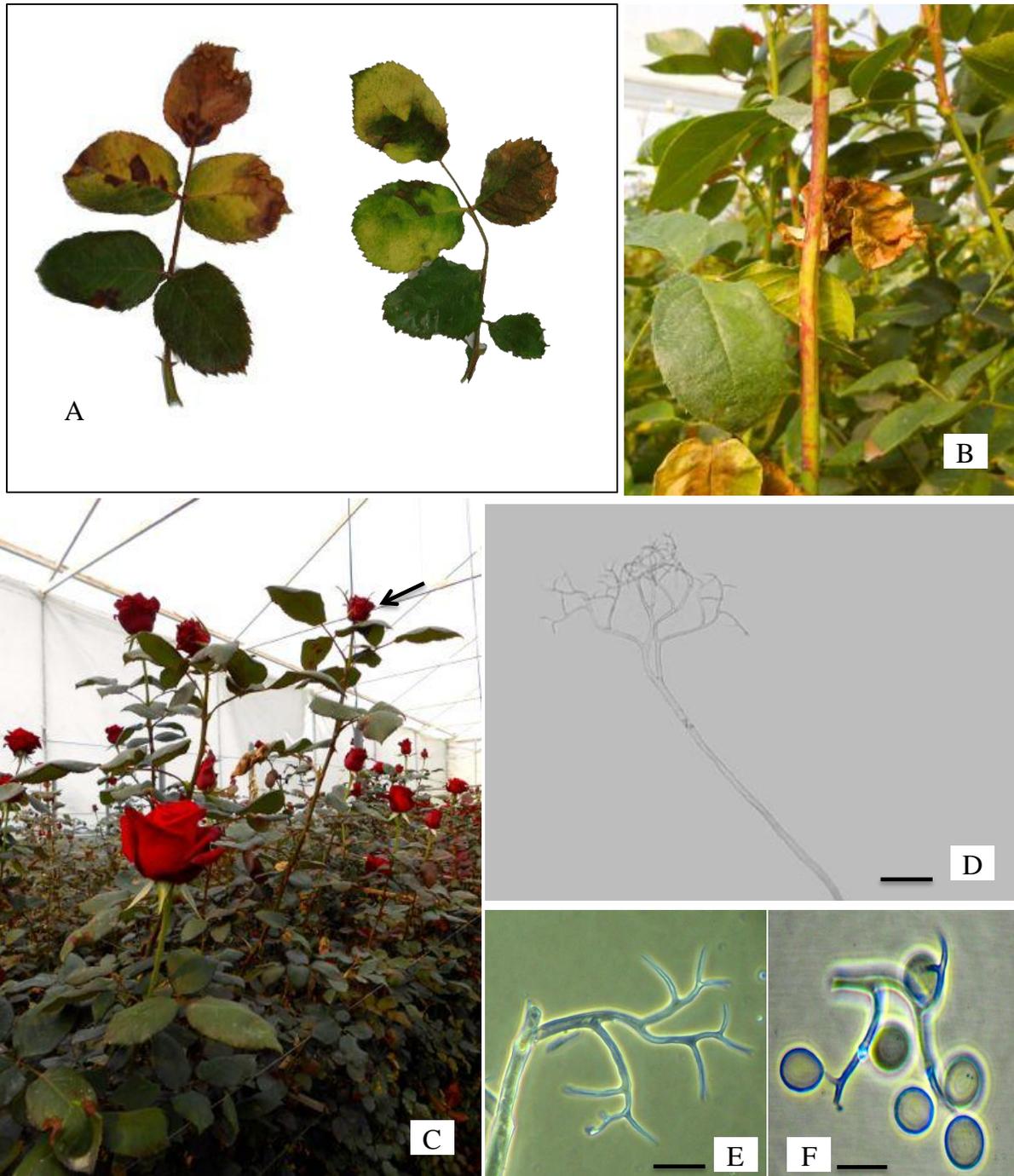
## Mildiu

El muestreo del material con signos de mildiu presentó manchas de coloración amarillentas, rojizas a café y purpuras, delimitadas por las venas en las hojas. Por tal motivo las manchas adquieren formas rectangulares. En tallos y sépalos la sintomatología consiste preponderantemente de formas redondas y coloraciones más rojizas a purpuras (Figura 3A).

En el envés de las manchas foliares se observaron, emergiendo a través de estomas, esporangióforos hialinos, 300-625  $\mu\text{m}$ , ramificados de 3 a 4 veces, con terminaciones bifurcadas de 5-22  $\mu\text{m}$  (Figura 3E). Los esporangios son hialinos, subglobosos a elipsoides, 14-22  $\times$  13-20  $\mu\text{m}$  y pocas veces presentan un pequeño tallo basal. No se encontraron estructuras morfológicas en tallos. De acuerdo con la caracterización morfológica, se identificó a *Peronospora sparsa* Berk como el agente asociado al mildiu del rosal (Horst y Cloyd, 2007; MycoBank, 2013).

La secuencia generada (GenBank No. de accesoión KF541660) de la region ITS-rDNA, mostró similitud de 99.1 % con *P. sparsa* en *R. multiflora* (GenBank No. de accesoión AY608610). En la región de estudio, el manejo de esta enfermedad consiste mayormente en aplicaciones de fungicidas con intervalos de cinco a siete días. Por lo contrario, el mildiu afecta la apertura y tamaño del botón floral, delimitando el valor comercial de las cosechas. Esta especie de mildiu se reporta por primera vez en México. Se anexa nota fitopatológica aceptada por la revista Journal of Plant Pathology (ISSN 1125-4653) (Anexo A).

De ambas especies el material vegetal con signos se depositó en el herbario CMPH de Fitopatología del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.



**Figura 3. Infección de mildiu en rosal.** (A) Síntomas en hoja. (B) Sintomatología en tallo. (C) Defoliación de tallo y reducción de tamaño y apertura de botón floral. (D) Esporangióforo; barra = 50  $\mu\text{m}$  (E) Puntas bifurcadas de esporangióforo; barra = 20  $\mu\text{m}$  (F) Esporangios adheridos a esporangióforo; barra = 20  $\mu\text{m}$ .

## CONCLUSIONES

El patógeno asociado a la cenicilla del rosal es *Podosphaera pannosa* (Wallr. Fr.) de Bary y la especie de mildiu de rosal es *Peronospora sparsa* Berk.

## LITERATURA CITADA

- Aegerter, B. J., J. J. Nuñez, and R. M. Davis. 2002. Detection and management of downy mildew in rose rootstock. *Plant Disease* 86: 1363-1368.
- Agrios, G.N. 2005. *Plant Pathology*. 5a. ed. Elsevier Academic Press. San Diego, California, USA. 948 p.
- Ayala-Vásquez, M., L. E. Argel-Roldan, S. Jaramillo-Villegas, y M. Marin-Montoya. 2008. Diversidad genética de *Peronospora sparsa* (Peronosporaceae) en cultivos de rosa de Colombia. *Acta Biologica Colombiana* 13(1): 79-94.
- Braun, U., and R. T. A. Cook. 2012. *Taxonomic Manual of the Erysiphales*. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, The Netherlands. 707 p.
- DNASTAR. 2001. Lasergene expert sequence analysis software. Users manual. Version 5. DNASTAR Inc. Madison, Wisconsin, USA. 475 p.
- Horst, R. K., and R. A. Cloyd. 2007. *Compendium of rose Diseases and Pests*. 2nd. ed. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 83 p.
- Leus, L., A. Dewitte, J. Van Huylenbroeck, N. Vanhoutte, E. Van Bockstaele, and M. Hofte. 2006. *Podospaera pannosa* (syn. *Sphaerotheca pannosa*) on *Rosa* and *Prunus* spp.: Characterization of Pathotypes by Differential Plant Reactions and ITS Sequences. *Journal of Phytopathology* 154: 23–28.
- Lindqvist H., H. Koponen, and J. P. T. Valkonen. 1998. *Peronospora sparsa* on cultivated *Rubus arcticus* and its detection by PCR based on ITS sequences. *Plant Disease* 82: 1304-1311.
- Mycobank. 2013. Fungal Databases Nomenclature and Species Bank (Mycobank). *Peronospora sparsa*. Disponible en: <http://www.mycobank.org/BioMICS.aspx?Link=T&TableKey=14682616000000063&Rec=15480&Fields=All>. Consultado el 20 de octubre de 2013.

- Olascoaga R., A. 1986. Producción de Rosa en invernadero para exportación. Tesis profesional de fitotecnia. UAEM. Toluca, México. pp: 47-51.
- Quiroga, B. N. J., y G. T Arbeláez. 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 (2): 110-118.
- White, T. J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In: PCR Protocols: A guide to Methods and Applications*. Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Snisky, and T. J. White (eds.). San Diego, California, USA. pp: 315-322.

### **CAPITULO 3. USO DE SILICIO EN SISTEMA HIDROPONICO DE ROSAL EN INVERNADERO PARA INDUCIR RESISTENCIA O TOLERANCIA A CENICILLA**

#### **RESUMEN**

En México, el rosal (*Rosa* spp.) es un cultivo importante para las zonas florícolas y uno de sus principales limitantes es el ataque por cenicilla (*Podosphaera pannosa*). En varios estudios se ha reportado los efectos del silicio (Si), promoviendo la resistencia a patógenos en diversos cultivos. Por tales motivos se desarrolló la presente investigación con el fin de evaluar el efecto de 14 dosis de Si en forma de silicato de potasio en la variedad Opera. El objetivo fue evaluar la dosis máxima aplicable sin causar fitotoxicidad y determinar la dosis óptima que controle la cenicilla. A 28 plantas, en un sistema hidropónico, se les suministró las diferentes dosis de Si, junto con la solución nutritiva durante cuatro semanas. Los resultados mostraron que, para el rosal, a partir de una concentración de 400 mg Si L<sup>-1</sup> las plantas tuvieron síntomas de toxicidad como clorosis, marchitez y necrosis. Los datos de severidad de la cenicilla demostraron estadísticamente que a concentraciones de 150 mg Si L<sup>-1</sup>, la severidad del hongo no superó 2 %, mientras que en el testigo hubo un porcentaje de daño de 18 %. Así el Si indujo alta resistencia a la cenicilla del rosal.

**Palabras clave:** *Podosphaera pannosa*, resistencia, *Rosa* spp., silicato de potasio.

## ABSTRACT

In Mexico, roses (*Rosa spp.*) are an important crop for the cut flower producing areas and one of its main limitations is the attack by powdery mildew (*Podosphaera pannosa*). The effect of silicon (Si) promoting resistance to pathogens in various crops has been reported in several studies. For such reasons, the present study was developed, with the aim of evaluating 14 different doses of Si in the form of potassium silicate in the variety Opera. The objective was to determine the maximum dose applicable without causing plant toxicity and the dose at which rose powdery mildew is controlled. The doses of Si were supplied together with the nutrient solution for four weeks to 28 plants grown hydroponically. The results showed that, for roses, at a concentration of 400 mg Si L<sup>-1</sup> or more the plants had symptoms of toxicity, which consisted of chlorosis and necrosis. The data of incidence and severity of powdery mildew showed statistically that at concentrations of 150 mg Si L<sup>-1</sup>, the severity of the disease did not exceed 2 %, whereas the control test had 18 % of severity. Thus Si induced high resistance to rose powdery mildew.

**Key words:** *Podosphaera pannosa*, potassium silicate, resistance, *Rosa spp.*

## INTRODUCCIÓN

En México, el estado de México es el principal productor de rosa en invernadero, con 680 ha (SIAP, 2012). Una de las principales limitantes en la producción de este cultivo es el ataque por la enfermedad conocida como cenicilla del rosal, la cual llega a alcanzar niveles de incidencia de 60 % en casos severos.

Esta enfermedad es causada por *Podosphaera pannosa* y es uno de los principales problemas fitosanitarios del rosal alrededor del mundo. Dicha enfermedad deteriora el tejido foliar de tallos en desarrollo, al formar colonias blanquecinas que llegan a cubrir hojas completas y deformarlas. Lo anterior, afecta la calidad del follaje y consecuentemente la apariencia de los tallos que se cortan para venta, influyendo directamente en la comercialización de los mismos (Horst y Cloyd, 2007).

En México, el control de la cenicilla se basa principalmente en continuas aplicaciones químicas. Algunos de los ingredientes activos empleados en la región de Villa Guerrero son acetato de dodemorph (Meltatox<sup>®</sup>), azoxistrobin (Amistar<sup>®</sup>), azufre elemental (Microthiol<sup>®</sup>), boscalid (Cabrio C<sup>®</sup>), y triforine (Saprol<sup>®</sup>). Los altos niveles de incidencia y severidad que ocasiona la enfermedad ha llevado a los productores a incrementar las dosis y disminuir los intervalos de aplicación, causando un deterioro al ambiente y repercusiones en la salud de los habitantes de zonas productoras.

Un método empleado por los productores en la región de estudio es la manipulación del clima en el invernadero al cerrar y abrir cortinas, logrando reducir la incidencia de la enfermedad; sin embargo, esto no es suficiente para lograr un buen control. Dado que se ha reportado que el manejo de invernadero puede resultar no práctico para el manejo de la cenicilla (Belanger *et al.*, 2002). Por lo anterior, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para el

manejo de dicha enfermedad, reduciendo de este modo el uso de fungicidas y una alternativa a los agroquímicos puede ser el empleo de productos orgánicos como lo es el silicio (Si).

El Si no se considera entre los elementos esenciales debido a que las plantas pueden crecer sin presentar alteraciones cuando el elemento está ausente, sin embargo, se ha probado que en algunos cultivos su importancia bajo situaciones de estrés como toxicidad por metales y en ataques por enfermedades ayuda a tener menos daño (Epstein, 2009). Se ha reportado su efecto protegiendo y reduciendo el ataque de patógenos en diversos cultivos (Datnoff *et al.*, 2007).

Shetty *et al.* (2012), reportaron el control de cenicilla con las aplicaciones de 100 mg Si L<sup>-1</sup> (silicato de potasio) en la solución nutritiva en rosal en maceta en invernadero. Por otro lado, Voogt y Sonneveld (2001) reportan el incremento de rendimiento y grosor en tallos con las aplicaciones de 180 mg Si L<sup>-1</sup> (silicato de potasio) en la solución nutritiva en un huerto comercial de rosa que se cultivó en sustrato de lana de piedra; sin embargo, no evaluaron el efecto sobre las enfermedades, dado que se realizaron aplicaciones continuas de fungicidas.

Por lo anterior y con el propósito de reducir ataques por patógenos en plantas de rosal en la región de Villa Guerrero, México, el presente estudio se planteó con los objetivos de inducir resistencia o tolerancia a cenicilla en rosal con el uso de Si y determinar la dosis máxima de silicio aplicable a la solución nutritiva de rosal en hidroponía sin causar fitotoxicidad. Esto con el supuesto de que la presencia de este elemento en la solución nutritiva disminuye la severidad de cenicilla en las plantas y que las plantas de rosal presentan síntomas de fitotoxicidad a dosis altas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El estudio se efectuó el 23 de enero de 2012 a 12 de junio de 2012 en un invernadero comercial en el Ejido de Villa Guerrero, en el municipio de Villa Guerrero, México, ubicado en la parte sur-oriental del estado, en las coordenadas geográficas 18°56' N y 99°38' W a 2 022 msnm.

### Unidad experimental

El 23 de enero de 2012 se establecieron 28 plantas del porta injerto "Natal Briar" en maceta de plástico de 3.78 L, se colocaron dos varetas previamente enraizadas por maceta, sujetándolas con una esponja a través de dos orificios anteriormente perforados en las tapas, quedando las plantas suspendidas con la raíz dentro de una solución nutritiva. Los recipientes se cubrieron con bolsas plásticas de color negro, para impedir la incidencia de luz y el desarrollo de algas en la solución. En cada maceta se colocó una manguera de 0.5mm de diámetro para suministrar una burbuja de aire a intervalos de 1 s para oxigenar la solución. El 27 de Febrero de 2012 se procedió a injertar la variedad comercial 'Opera'.

### Solución nutritiva y silicio

Una vez que las yemas injertadas brotaron se administraron las diferentes dosis de Si en forma de silicato de potasio (Resistent<sup>®</sup>). Se distribuyeron 14 tratamientos en un diseño completamente al azar, con dos repeticiones. Las dosis de los tratamientos fueron: 0 (testigo), 25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 900, 1000, 1500 y 2000 mg Si L<sup>-1</sup> (cálculos en Anexo B). Estas se agregaban a la solución nutritiva Ornafor-1 (91.8 N, 5 P, 295.2 K, 30 Ca, 24 Mg, mg L<sup>-1</sup> respectivamente; Efynuve, A.C.) los micronutrientes fueron con base a la fórmula de Hewitt y Smith (1975), que se cambiaba cada 8 d.

## **Fitotoxicidad**

El Si se empezó a suministrar el 14 de mayo de 2012 y a partir de esta fecha se procedió a observar cada semana el comportamiento de las plantas, tomando nota de cualquier alteración que estas presentaran. La colecta de datos y toma de fotos se hizo cada 8 d, previo al cambio de solución. Las fechas de la toma de datos fueron: 21 y 28 de mayo, y 4 y 12 de junio de 2012.

Dado que no existen estudios donde se reporte la sintomatología de la toxicidad por Si la manifestación e intensidad de las alteraciones se describieron en: sin daño, clorosis, enchinamiento de hojas, marchitez y defoliación, y planta muerta.

## **Inoculación de cenicilla**

Se buscó que la infección de plantas se presentara de manera natural, para esto, el experimento se montó en un invernadero comercial donde las condiciones favorecieron al establecimiento de la enfermedad. En el área alrededor a las macetas se suspendió la aplicación de fungicidas para asegurar la existencia de inóculo y la infección por el patógeno.

## **Control de la cenicilla con Si**

En cuanto a la presencia de enfermedad, se registraron datos de incidencia y severidad en plantas infectadas. La severidad se calculó con el uso de los programas GIMP 2.6 e Image Tool, tomando el porcentaje de tejido dañado del área total de follaje en planta total, con fotografías tomadas del dosel frontal a cada maceta. También se calculó la severidad en la hoja más dañada de cada planta.

## **Análisis del contenido de Si**

Una vez concluido el experimento se tomaron las plantas para analizar y comprobar el contenido de Si en las mismas, con el fin de demostrar el porcentaje de absorción de Si en las plantas. Para esto, se empleó el método gravimétrico establecido por Vogel (1955). Dado que

algunas de las plantas del experimento se defoliaron por los síntomas de toxicidad, el análisis se llevó a cabo por planta completa (tallo, raíz y hojas) y no por órgano vegetal. Los análisis fueron efectuados en el laboratorio Salvador Alcalde Blanco del departamento de Edafología, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

### **Análisis estadísticos**

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon utilizando la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ )

Los análisis estadísticos de la evaluación de fitotoxicidad y severidad de daño por *penicilla*, se realizaron con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, version 9.1.3 SAS Institute Inc. 2007).

## RESULTADOS

### Control de la cenicilla con Si

La aplicación del silicio al rosal mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ). En los tratamientos de 0(testigo), 25, 50, 100, 150, 200 y 300 mg Si L<sup>-1</sup> ocurrió infección de cenicilla de forma natural. La severidad de daño por la enfermedad difirió con los tratamientos (Figura 1), encontrando que a mayor dosis de los arriba siete tratamientos se presentó menor daño por el patógeno. Al suministrar la dosis de 25 mg Si L<sup>-1</sup>, no hubo efecto sobre la cenicilla, a 50 mg Si L<sup>-1</sup> ya existió actividad, pero su mayor efecto de protección se logró con la aplicación de 150 a 300 mg Si L<sup>-1</sup> de Si (Cuadro 1).

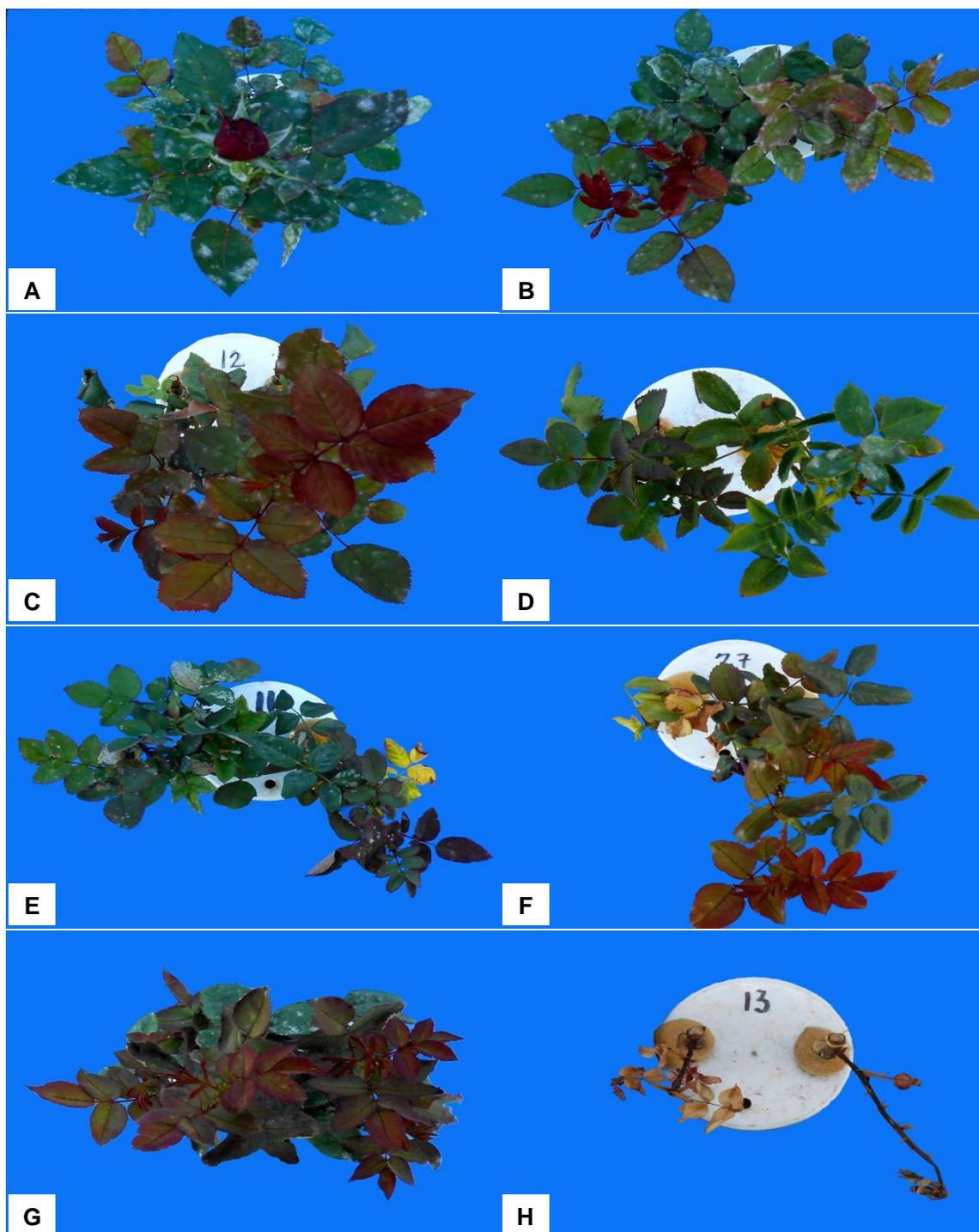
En los tratamientos de 400 a 2000 mg Si L<sup>-1</sup> no se evaluó efecto en cenicilla dado que en el transcurso de las cuatro semanas de aplicación a las plantas de dichos tratamientos se fueron necrosando.

### Fitotoxicidad por Si

En el testigo (0) y las dosis de: 25, 50, 100, 150, 200 y 300 mg Si L<sup>-1</sup> las plantas se desarrollaron sin presentar síntomas de toxicidad (Cuadro 2). Las plantas con dosis de 100 y 150 mg Si L<sup>-1</sup> presentaron clorosis en la segunda semana de evaluación en algunas de sus hojas (por inadecuada oxigenación en breve periodo de tiempo), sin embargo, los brotes y hojas nuevas se desarrollaron sin síntomas de clorosis o toxicidad al restaurar la oxigenación del agua.

A partir de 400 mg Si L<sup>-1</sup>, al transcurrir la primer semana, las hojas maduras mostraron síntomas de toxicidad (Figura 2B). La sintomatología se caracterizó de clorosis (Grado 2), tornándose las hojas de tonos amarillentos y rosas. Esto se presentaba a la vez o antes de un enrollamiento de las hojas hacia el envés de las mismas (Grado 3) (Figura 2C). La marchitez de hojas se presentaba después del enrollamiento, a lo que le seguía la defoliación de la planta

(Grado 4) y culminaba con la marchitez total del tallo con una apariencia necrótica (Grado 5) (Figura 2D).



**Figura 1.** Tratamientos de Si en la solución nutritiva del rosal en hidroponía. (A) Testigo. (B) 25, (C) 50, (D) 100, (E) 150, (F) 200, (G) 300 y (H) 400 mg Si L<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1.** Comparación de medias de severidad de cenicilla en plantas tratadas con Si.

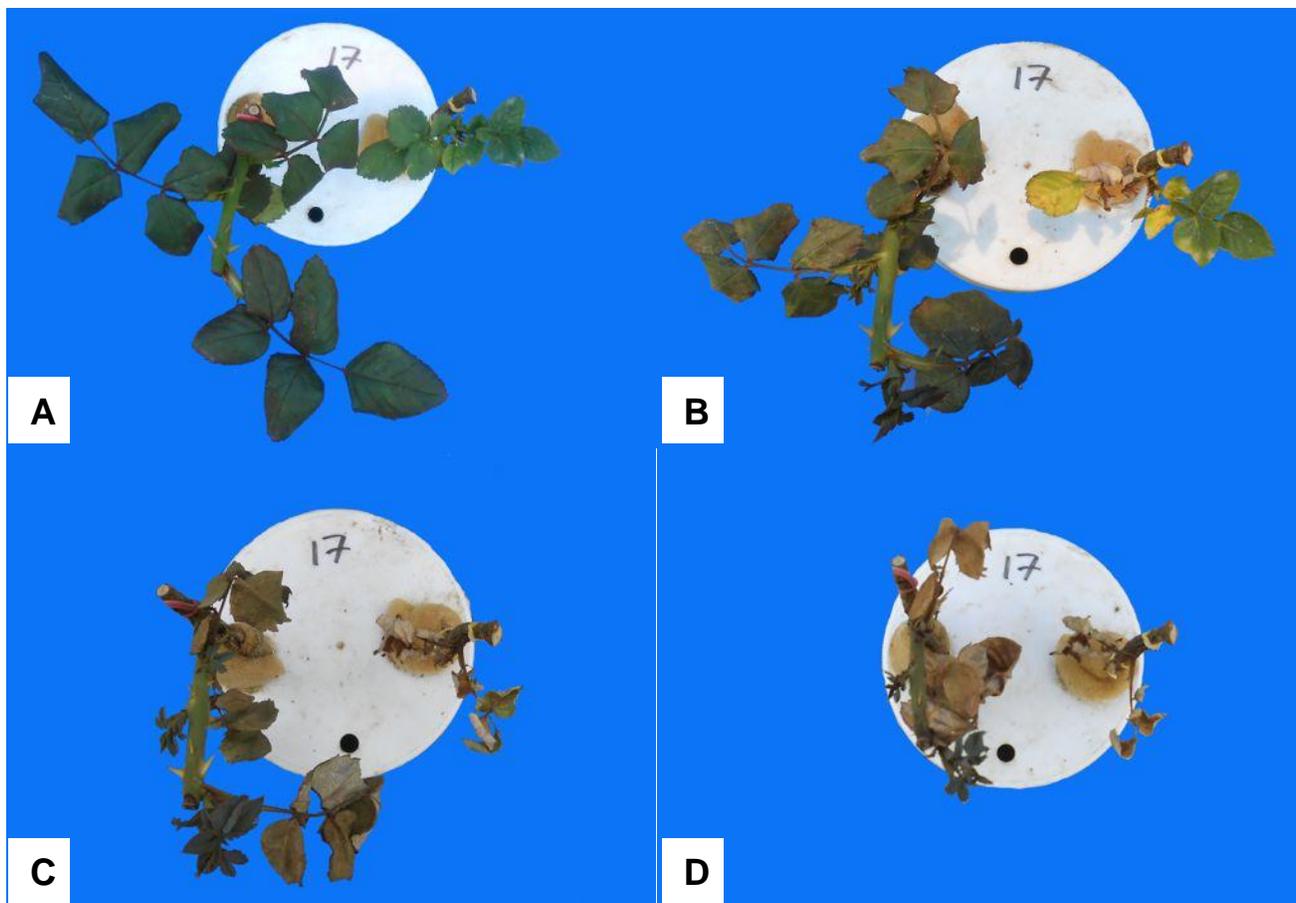
Tratamiento	Dosis	Cenicilla (%)
1	0	18.00 a*
2	25	17.50 a
3	50	12.00 b
4	100	4.50 c
5	150	2.00 d
6	200	1.25 d
7	300	1.20 d

\*Diferencia mínima significativa; medias por Tukey que presentan la misma letra, no difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 2.** Comparación de medias de la evaluación de toxicidad por silicio.

Tratamiento	Dosis	Toxicidad (%)
1	0	0 a*
2	25	0 a
3	50	0 a
4	100	12.5 a
5	150	25 a
6	200	0 a
7	300	0 a
8	400	87.5 b
9	500	100 b
10	700	100 b
11	900	100 b
12	1000	100 b
13	1500	100 b
14	2000	100 b

\*Diferencia mínima significativa; medias por Tukey que presentan la misma letra, no difieren significativamente ( $P = 0.05$ ).



**Figura 2.** Planta con tratamiento de 400 mg L<sup>-1</sup> de Si en solución nutritiva en hidroponía. (A) Primer semana. (B) Segunda semana. (C) Tercer semana. (D) Cuarta semana.

Dicha sintomatología se desarrolló en un lapso de tiempo de cuatro semanas para los tratamientos de 400 y 500 mg L<sup>-1</sup>, mientras que en las dosis a partir de los 700 mg L<sup>-1</sup> las plantas se tornaban necróticas en 100 % al transcurrir las dos primeras semanas de exposición.

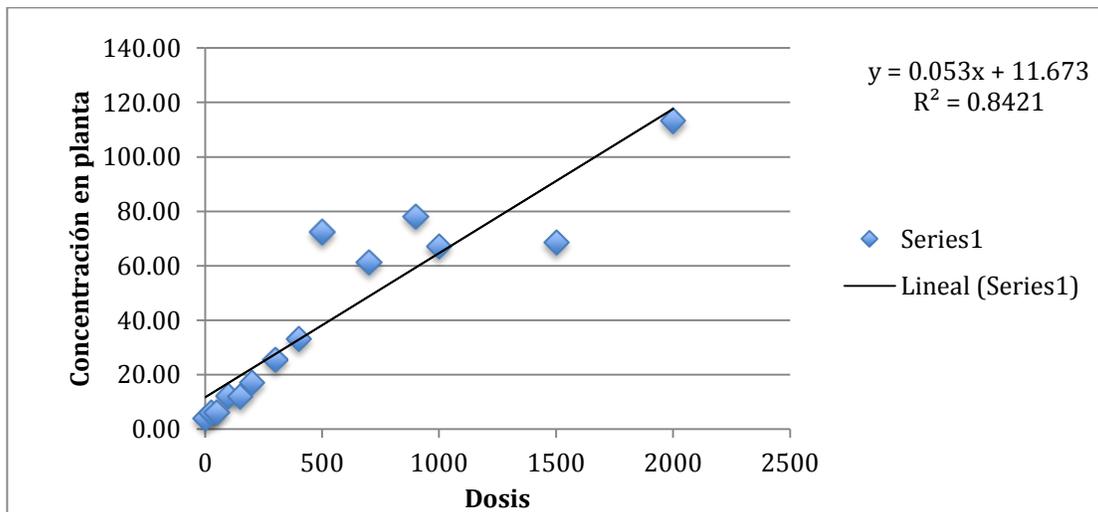
### **Análisis de Si**

Los resultados del análisis químico se promediaron (Cuadro 3) para realizar una correlación en la cual se encontró una  $r^2$  de 0.84 (Figura 3), lo que sugiere que la absorción de Si por las plantas de rosal fue de 8.4 %.

**Cuadro 3.** Concentración de Si en plantas de rosal después de cuatro aplicaciones de Si en hidroponía.

Tratamiento	Dosis	Repetición 1*	Repetición 2*	Promedio*
1	0	4.32	3.91	4.11
2	25	5.85	6.12	5.98
3	50	6.22	5.98	6.10
4	100	9.67	14.80	12.23
5	150	10.86	13.26	12.06
6	200	17.74	16.46	17.10
7	300	18.80	32.17	25.48
8	400	26.45	40.35	33.40
9	500	60.36	84.60	72.48
10	700	54.11	68.38	61.24
11	900	74.49	82.00	78.24
12	1000	87.65	46.91	67.28
13	1500	42.12	95.43	68.77
14	2000	142.70	84.14	113.42

\* mg Si kg<sup>-1</sup> materia seca



**Figura 3.** Correlación de dosis de Si aplicado a la solución nutritiva de rosal y concentración en planta total.

## DISCUSIÓN

Shetty *et al.* (2012), señalaron que en rosas en maceta con sustrato PINDSTRUB® al regar con una solución de 100 mg Si L<sup>-1</sup> (silicato de potasio) en invernadero, se retrasó la infección por cenicilla de 1 a 2 días y redujo el porcentaje de severidad hasta en 48.9%, en comparación con su testigo. De acuerdo a los resultados obtenidos en este experimento esa dosis si controló la cenicilla, sin embargo, una dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> mostró mayor efectividad y diferencia significativa en cuanto al control y se redujo la severidad nueve veces (89 %).

En lo que respecta a la toxicidad, la aparición de los síntomas primeramente en las hojas maduras se puede explicar, puesto que el movimiento de Si se ve influenciado por el grado de transpiración, moviéndose junto con el agua a los tejidos con una mayor tasa de transpiración (Bauer *et al.*, 2011; Broadley *et al.*, 2012). Cabe mencionar que al administrar las dosis referidas en este trabajo, no se tomó en cuenta el efecto del ion acompañante que fue potasio. El potasio se absorbe más rápido que el Si y dadas las concentraciones que se utilizaron podría estar ocasionando una fitotoxicidad por la alta concentración en la solución nutritiva y no por el silicio en si. Aunque de acuerdo a varios autores el potasio en combinación con otros elementos nutritivos ayuda al control de enfermedades por hongos y en mejorar la fenología de la planta. Este tema queda sujeto a futuras investigaciones al respecto.

Si la absorción promedio de Si fue de 8.4 % y la dosis a la cual se logra el mejor control sobre cenicilla fue de 150 a 300 mg L<sup>-1</sup>, se deduce que las plantas de rosal requieren absorber y tener en su tejido de 12.6 a 25.2 mg Si L<sup>-1</sup> para presentar resistencia contra esta enfermedad. Se decide seleccionar la dosis baja de Si dado que estadísticamente no hubo diferencia pero si hay ahorro en costos de producción.

## CONCLUSIONES

A  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de Si la cenicilla del rosal no se ve afectada, de 50 a  $100 \text{ mg Si L}^{-1}$  ya existe control; sin embargo, la mejor dosis para controlar la cenicilla de rosal en hidroponía fue de  $150 \text{ mg L}^{-1}$ .

El suministro de Si a la solución nutritiva del cultivo de rosal en hidroponía en invernadero es benéfico mientras la concentración no exceda los  $300 \text{ mg L}^{-1}$ .

Las plantas de rosal absorbieron en promedio 8.4 % del Si suministrado.

El Si indujo alta resistencia a la cenicilla del rosal.

## LITERATURA CITADA

- Bauer, P., R. Elbaum, and I. M. Weiss. 2011. Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function. *Plant Science* 180: 746-756.
- Bélangier, R. R., W. R. Bushnell, A. J. Dik, and T. L. W. Carver. 2002. The Powdery Mildews: A Comprehensive Treatise. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 292 p.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, J. F. Ma, Z. Rengel, and F. Zhao. 2012. Beneficial Elements. *In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd. ed. Marschner, P. (ed). San Diego, California, USA. 2012. Elsevier (Ed). pp 249-269.
- Datnoff, L. E., F. A. Rodrigues, and K. W. Seebold. 2007. Silicon and Plant Disease. *In: Mineral Nutrition and Plant Disease*. Datnoff, L. E., W. H. Elmer, and D. M. Huber (eds). St. Paul, Minnesota, USA. 2007. APS Press. pp 233-246.
- Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155: 155-160.
- Hewitt, E. J., and T. A. Smith. 1975. *Plant mineral nutrition*. The University Press Ltd. 298 p.
- Shetty, R., B. Jensen, N. P. Shetty, M. Hansen, C. W. Hansen, K. R. Starkey, and H. J. L. Jorgensen. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology* 61: 120-131.
- SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350). Consultado el 28 de octubre de 2013.
- Vogel, A. I. 1955. *A textbook of quantitative inorganic analysis*. Longmans. London, England.
- Voogt, W. and C. Sonneveld. 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. *In: Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndörfer (eds). Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science (Ed.). pp: 115-131.

## **CAPITULO 4. APLICACIONES FOLIARES DE SILICIO EN LA PRODUCCIÓN DE ROSAL EN INVERNADERO Y EN EL MANEJO DE CENICILLA Y MILDIU**

### **RESUMEN**

La cenicilla y el mildiu son las enfermedades más comunes en rosal en Villa Guerrero, México. Se ha observado que en casos severos la cenicilla limita la producción comercial hasta 60 % y el mildiu hasta 100 %; terminando con producciones completas y obligando a productores a realizar podas de limpieza. La principal estrategia de manejo en la producción de rosa en invernadero es la aspersión foliar de fungicidas. Sin embargo, la búsqueda de nuevas alternativas como puede ser el uso de silicio (Si) sería una ventaja para las zonas productoras. Por tal motivo se efectuó un estudio con el fin de evaluar dos niveles de sombra, dos variedades de rosa, cinco tratamientos de Si y uno de fungicida en aplicaciones foliares para determinar la factibilidad de Si en el control de cenicilla y mildiu del rosal, y el efecto sobre el rendimiento. Para el porcentaje de daño por cenicilla en plástico con sombra de 30 %, se tuvo una menor severidad de cenicilla. En cuestión de las variedades, 'Grande Classe' tuvo menor nivel de infección que 'Opera' y se encontró que a 300 mg Si L<sup>-1</sup> hubo control de cenicilla. El tratamiento con fungicida tuvo menor severidad que el testigo, pero no menos que los cinco tratamientos de Si. En lo que respecta al porcentaje de mildiu, no existieron diferencias significativas entre los siete tratamientos. En este caso, los sitios mostraron que bajo un plástico de menor sombra (15 %), ocurre menor severidad de mildiu. En las medias de las variedades se comprueba que la variedad 'Grande Classe' es más resistente a esta enfermedad. Se encontró que estadísticamente no hay diferencia en el rendimiento con aplicaciones de Si durante 10 semanas.

**Palabras clave:** control, *Peronospora sparsa*, *Podosphaera pannosa*, rosal, silicio.

## ABSTRACT

Powdery and downy mildew are the most common diseases of roses in Villa Guerrero, Mexico. It has been observed that in severe cases that yield can be limited by powdery mildew up to 60 % and by downy mildew up to 100%; resulting in total loss of production by obligating producers to prune all infected material in the greenhouse. The main management strategy in the rose for cut flower production is the foliar spraying of fungicides. Nevertheless, the search for new alternatives such as the use of Si for control would be an advantage for the producing areas. For such motive, the present study was done with the objective of evaluating two levels of shade, two varieties of roses, five treatments of Si and one of fungicide in foliar spray to determine the feasibility of Si in the control of powdery and downy mildew of roses, and its effect on yield. For the percentage of damage by powdery mildew, under a plastic of 30 % shade there was less severity. For the varieties, 'Grande Classe' had less level of infection than 'Opera' and it was found that at 300 mg Si L<sup>-1</sup> powdery mildew was controlled. The fungicide treatment had less damage than the control test but not less than the Si treatments. For downy mildew control there were no statistical differences between the seven treatments. In this case, under a shade of 15 % there was less damage of downy mildew. In the comparison of varieties, it was found that 'Grande Classe' is more resistant to this disease. After 10 weeks of spraying the plants with Si treatments the yield was statistically not different.

**Key words:** control, *Peronospora sparsa*, *Podosphaera pannosa*, roses, silicon.

## INTRODUCCIÓN

El estado de México es el principal productor de rosa en invernadero con 680 ha (SIAP, 2012). La cenicilla y el mildiu del rosal son las enfermedades más comunes de este cultivo (Horst y Cloyd, 2007). En Villa Guerrero, estado de México, se ha observado cuando no hay control de las enfermedades que la severidad de cenicilla puede llegar a limitar la producción comercial hasta en 60 %, y el mildiu hasta 100 %; terminando con producciones completas al obligar a los productores a realizar podas de limpieza para reiniciar ciclos de producción.

La principal estrategia de manejo en la producción de rosa en invernadero es la aspersión foliar de fungicidas. Sin embargo, el uso excesivo de estos afecta la salud y eleva los costos de producción, lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas como puede ser el uso de silicio (Si). El Si es un elemento que se considera juega un papel importante en las defensas de las plantas contra factores bióticos y abióticos (Epstein, 2009).

Shetty *et al.* (2012), encontraron que en cuatro genotipos de rosa miniatura (99/9496-19, 95/5166-1, 98/8285-1 y Smart), establecidas en sustrato Pindstrup® bajo invernadero, se redujo la severidad hasta en un 48.9 % al suministrar Si en cantidades de 100 mg L<sup>-1</sup> en el agua de riego. Hwang *et al.* (2005), realizaron aplicaciones de Si a la raíz y en aspersión foliar a rosa (*Rosa hybrida* 'Pinocchio') en un sistema hidropónico de lana de roca, sin embargo en la evaluación no se consideró analizar algún efecto en hongos fitopatógenos. Aunque cabe mencionar que en los resultados se puso en evidencia otras características que aporta el Si a los cultivos, y que fueron un aumento en longitud y diámetro de los tallos evaluados.

De igual manera, Voogt y Sonneveld (2001), reportaron en rosa ('Madelon') en hidroponía un incremento en rendimiento a los tres meses, al aumentar el número de tallos; a los seis meses las diferencias en rendimiento fueron estadísticamente diferentes. La incidencia de

cenicilla se monitoreó, sin embargo no se evaluó dado que el productor aplicó fungicidas rutinariamente.

En general, al Si se le pueden contribuir características como las de: promover fotosíntesis, efectos sobre propiedades de superficie en tejidos, resistencia a herbívoros, resistencia a toxicidad por metales, resistencia a salinidad, reducción de estrés en casos de sequedad y protección a temperaturas extremas (Epstein, 2001). Sin embargo, para lograr lo anterior primero es necesario que las plantas absorban al elemento.

Mattson y Leatherwood (2010), sugieren que se requieren altas concentraciones de Si en los tejidos de las plantas para obtener sus beneficios. El efecto de la silificación en plantas se correlaciona con la tasa transpiratoria por el movimiento pasivo de ácido silícico con el agua (Bauer *et al.*, 2011). Entonces, las hojas maduras son las primeras en donde se deposita el Si, lo que representa una desventaja para el control de cenicilla y mildiu del rosal, ya que estas enfermedades se caracterizan por infectar hojas en desarrollo (Horst y Cloyd, 2007). Sin embargo, existen diferentes reportes de aplicaciones foliares de Si para disminuir la incidencia de cenicilla en pepino, tomate y uva (Bowen *et al.*, 1992; Yanar *et al.*, 2011; Wolff *et al.*, 2012); lo que sugiere que la aplicación foliar podría adaptarse a un sistema de producción de rosal ya que las aspersiones son dirigidas a los tejidos que se busca proteger.

Estudios donde el suministro de Si se aplique foliarmente en huertos comerciales de rosal establecidos en suelo, son inexistentes. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes dosis de Si aplicadas foliarmente para controlar la cenicilla y el mildiu del rosal, evaluar su efecto sobre el rendimiento y acumulación en hojas. Esto con el supuesto de que la aplicación de Si foliarmente reducirá la severidad de tales enfermedades y aumentará el rendimiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio de estudio**

El estudio se efectuó el 17 de agosto de 2012 al 26 de octubre de 2012 en el Ejido de Villa Guerrero, en el municipio de Villa Guerrero, México ubicado en la parte sur-oriente del estado, en las coordenadas geográficas 18°56' N y 99°38' W a 2 022 msnm.

### **Diseño experimental**

El 17 de agosto de 2012, se estableció en suelo y de forma comercial el experimento factorial  $2 \times 2 \times 7$  con un diseño completamente al azar y tres repeticiones. Los factores de variación fueron: factor sombra con dos niveles (15 y 30 % sombra según especificaciones de fabricante), el factor variedad con dos niveles (Opera y Grande Classe), y el factor dosis con siete niveles (testigo, cinco dosis de Si y tratamiento químico). La unidad experimental la constituyeron seis plantas.

Las variedades fueron injertadas sobre el porta injerto 'Natal Briar' que fue previamente sembrado. La edad de las plantas al tiempo del experimento fue de siete meses y se les realizó una poda previa al inicio de las aplicaciones, para homogeneizarlas.

### **Inoculación de cenicilla y mildiu**

Para el caso de cenicilla se hicieron dos inoculaciones por espolvoreo de conidios de material infectado sobre las plantas del experimento. La primera se hizo el 20 y la segunda el 27 de agosto de 2012. Mientras que para mildiu se buscó que la infección de plantas se presentará de manera natural. En el área alrededor a las plantas se suspendió la aplicación de fungicidas para asegurar la existencia de inóculo y la infección por el patógeno.

El experimento se hizo en un invernadero comercial con cubierta plástica donde las condiciones favorecieran la infección de cenicilla y mildiu.

## Tratamientos

Se aplicaron siete tratamientos (Cuadro 1) asperjados foliarmente, constando de un testigo, cinco tratamientos de diferentes dosis de silicio en forma de  $K_2SiO_3$  (Resistent<sup>®</sup>) y un tratamiento de fungicida comercial a base de hidróxido de cobre (Copernico<sup>®</sup>) para el control de ambas especies.

**Cuadro 1.** Tratamientos del experimento foliar.

Tratamiento	Dosis
1	0 <sup>†</sup>
2	300 <sup>¶</sup>
3	500 <sup>¶</sup>
4	700 <sup>¶</sup>
5	900 <sup>¶</sup>
6	1000 <sup>¶</sup>
7	300 <sup>§</sup>

<sup>†</sup> testigo; <sup>¶</sup> mg Si L<sup>-1</sup>; <sup>§</sup> mg Cu(OH)<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.

## Evaluación de tratamientos

Los tratamientos se aplicaron en aspersión foliar (uso de mochila y cálculos en apéndice B) cada 8 d, del 17 de agosto de 2012 al 26 de octubre de 2012, cubriendo desde la poda hasta la cosecha de las dos variedades de rosa.

Se realizó solo una evaluación final el 2 de noviembre de 2012. Se tomaron datos del porcentaje (severidad) de cenicienta y mildiu que presentaron las hojas de los tallos. También se contó el número de tallos en cada repetición así como la longitud de los mismos, para interpretar el efecto sobre rendimiento.

## Análisis del contenido de Si

Para ello se tomó la primer hoja de cinco foliolos de la parte apical de cada tallo muestreado por planta, y se analizaron por el método gravimétrico establecido por Vogel (1955)

en el laboratorio Salvador Alcalde Blanco del departamento de Edafología, en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

### **Análisis Estadístico**

Las medias de los tratamientos se compararon mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un experimento factorial y la prueba de medias de tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los análisis estadísticos de la evaluación en invernadero, se realizaron con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, version 9.1.3 SAS Institute Inc. 2007).

## RESULTADOS

### **Efecto de la aplicación foliar de Si en cenicilla**

En la comparación de medias para la variable porcentaje de cenicilla, entre los porcentos de sombreo existió diferencia estadística significativa, lo que indicó que bajo el plástico con sombra de 30 % y calibre 600, se tuvo una menor severidad de la cenicilla.

En cuestión de las variedades, el análisis estadístico parcial mostró que la variedad ‘Grande Classe’ tuvo menor nivel de infección, tanto en el sombreo al 15% como en el sombreo al 30%.

Existió una diferencia significativa entre los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), sobresaliendo los tratamientos de Si (Figura 1C y 1D), sin existir diferencia entre estos. Por lo anterior se deduce que la dosis efectiva a emplear podría ser cualquiera en el intervalo de 300 a 1000 mg Si L<sup>-1</sup> (Cuadro 2). El tratamiento con fungicida y sin Si tuvo menor incidencia de la enfermedad que el testigo, pero no menos que los tratamientos de Si.

### **Efecto de la aplicación foliar de Si en mildiu**

En lo que respecta al porcentaje de mildiu, no existieron diferencias significativas entre los siete tratamientos. El tratamiento con fungicida no fue efectivo. En este caso, los sitios marcaron una diferencia significativa, mostrando que bajo un plástico de menor sombra (15 %), ocurre menor severidad de mildiu. En las medias de las variedades se comprueba que la variedad ‘Grande Classe’ es más resistente a esta enfermedad (Cuadro 2).

### **Efecto de la aplicación foliar de Si en la producción de rosal**

En la comparación de medias para la variable número de tallos (principal indicador de rendimiento) no se observó diferencia entre los tratamientos (Cuadro 2). En dicha variable solo

se observó una pequeña diferencia varietal, siendo la variedad ‘Grande Classe’ la variedad más productiva con un tallo más.

Para el caso de longitud de tallos no se marca diferencia significativa entre los tratamientos y de igual manera, solo existió diferencia entre las variedades, en este caso la variedad ‘Opera’ tuvo los tallos de mayor longitud (6 cm) (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Comparación de medias de la evaluación de aspersiones foliares de Si en rosal.

Variables	Tratamientos (Cuadro 1)							Sitios		Variedades	
	1*	2	3	4	5	6	7^	I	II	1†	2 <sup>B</sup>
<b>No. de tallos</b>	10.58a	12.75a	11.58a	11.83a	11.25a	10.66a	10.16a	11.16a	11.35a	10.54a	11.97b
<b>Long. de tallos</b>	56.71a	62.59a	62.37a	63.39a	63.32a	60.87a	63.43a	60.84a	62.84a	64.89a	58.73b
<b>% de cenicilla</b>	52.50a	5.10c	3.70c	3.10c	3.30c	3.00c	10.50b	13.30a	10.00b	14.20a	9.10b
<b>% de mildiu</b>	11.30a	6.70a	5.50a	4.83a	6.60a	4.00a	5.90a	4.00b	8.80a	10.30a	2.50b

\* testigo; ^ fungicida; I=15 % de sombra; II=30 % de sombra; † Opera; <sup>B</sup> Grande Classe.



**Figura 1. Comportamiento de los tratamientos de silicio y fungicida. Variedad ‘Opera’:** (A) testigo, (C) 300 mg L<sup>-1</sup>, (E) fungicida. Variedad ‘Grande Classe’: (B) testigo, (D) 300 mg L<sup>-1</sup>, (F) fungicida.

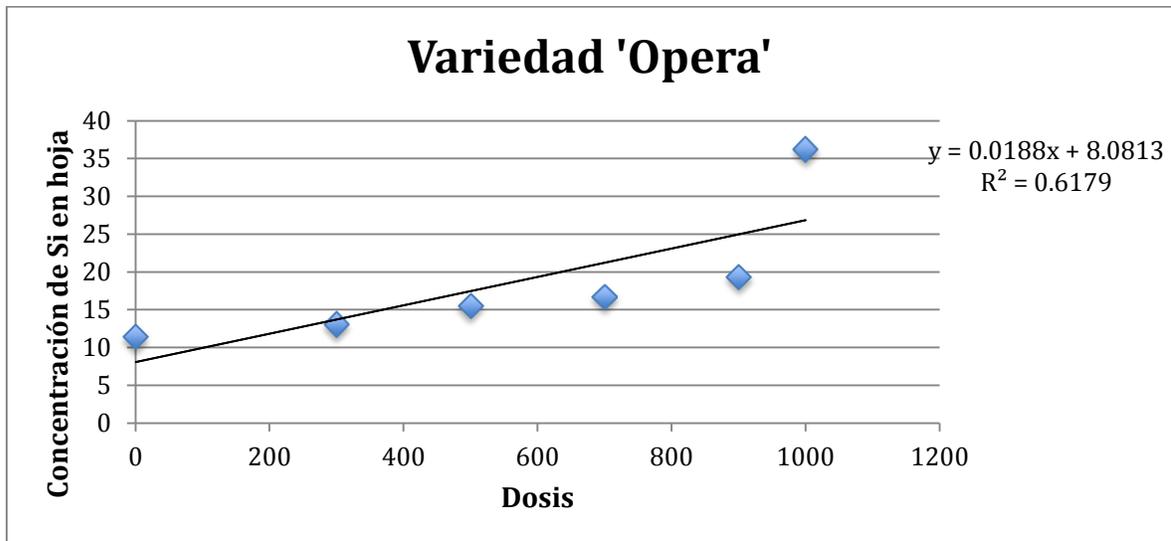
## Análisis de Si

Los resultados de los análisis arrojaron los siguientes datos (Cuadro 3):

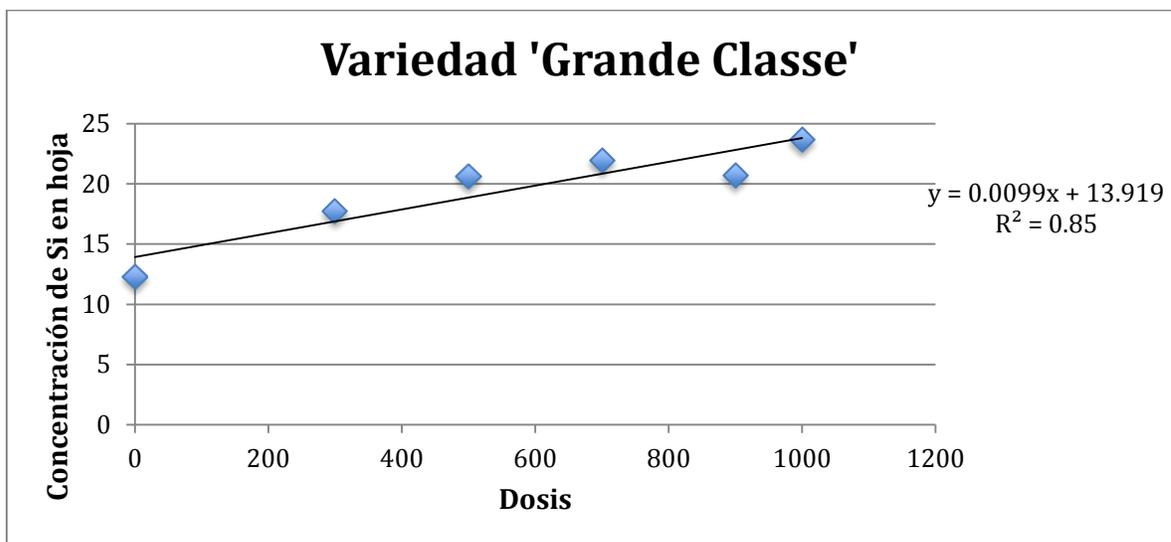
**Cuadro 3.** Resultados del análisis de hojas asperjadas con silicio.

Tratamiento	Dosis <sup>†</sup>	Variedad	Sombra 15% <sup>¶</sup>	Sombra 30% <sup>¶</sup>	Promedio <sup>¶</sup>
1	0	O <sup>§</sup>	11.730	11.093	11.41
2	300	O	12.430	13.729	13.07
3	500	O	15.313	15.751	15.53
4	700	O	16.528	16.922	16.72
5	900	O	18.413	20.259	19.33
6	1000	O	41.051	31.409	36.23
1	0	G <sup>β</sup>	9.666	14.902	12.28
2	300	G	17.957	17.507	17.73
3	500	G	22.337	19.014	20.67
4	700	G	23.385	20.627	22.00
5	900	G	19.305	22.213	20.75
6	1000	G	24.123	23.268	23.69

<sup>†</sup> mg Si L<sup>-1</sup>; <sup>¶</sup> mg Si Kg<sup>-1</sup>; <sup>§</sup> Opera; <sup>β</sup> Grande Classe.



**Figura 2.** Correlación de dosis de Si aplicado foliarmente y su concentración en hoja.



**Figura 3.** Correlación de dosis de Si aplicado foliarmente y su concentración en hoja.

En la variedad Opera hubo menor porcentaje de concentración de Si en hojas y mayor % de cenicilla, en cambio en la variedad Grande Classe hubo mayor concentración de Si en hojas y menor % de cenicilla (Cuadro 3). La excepción fue en la dosis de 1000 mg Si L<sup>-1</sup>. En la correlación de dosis y concentración en hoja se encontró una proporción directa entre las dosis y su concentración en hoja para ambas variedades (Figura 2 y Figura 3).

## DISCUSIÓN

Aunque los análisis estadísticos señalen que no hubo diferencia significativa entre tratamientos para el porcentaje de mildiu, se observó que el tratamiento seis tuvo el menor porcentaje. El hecho de que no haya habido diferencia pudiera ser el resultado de una baja presencia de inóculo, lo que causó que todas las evaluaciones obtuvieran niveles bajos de severidad. Sin embargo, estudios posteriores serían necesarios para corroborar. La diferencia entre la sombra debido al plástico pudiera sugerir que entre más sombra existe mayor HR y prolongación de esta y así pudo restringir a cenicilla lo que propició condiciones favorables para el desarrollo de mildiu.

En lo que respecta al rendimiento de las plantas cabe mencionar que el experimento duro 10 semanas y no se determinó diferencia estadística significativa, sin embargo, si se observan los promedios (Cuadro 3), se distingue que existió una diferencia de más de dos tallos entre el testigo y el tratamiento dos. Esto pudiera estar sujeto a lo observado por Voogt y Sonneveld (2001), que en su trabajo con Si en rosa lograron obtener una diferencia estadística hasta los seis meses de experimentación.

Para el caso de longitud de tallos ocurre algo similar, en el caso de los tratamientos 4, 5 y 7 se observó una diferencia en las medias de hasta 7 cm en comparación con el testigo. En el comercio de las rosas esta longitud pudiera considerarse significativa ya que podría ser la diferencia entre los estándares de calidad de exportación y calidad de mercado nacional. La baja presencia de cenicilla y/o mildiu queda a criterio del comprador a mayoreo, siempre y cuando la infección no sea en flor y/o pedúnculo.

## CONCLUSIONES

La aplicación foliar de silicio en las variedades 'Opera' y 'Grande Classe' a dosis de 300 mg L<sup>-1</sup> controla la cenicilla del rosal en invernadero. El mildiu del rosal no se ve afectado por las aplicaciones foliares de Si. El rendimiento del rosal no incrementa con la aplicación foliar de Si y la longitud de sus tallos no aumenta.

El uso de una cubierta plástica de calibre 600 y sombra al 30 % reduce la severidad de daño por cenicilla en comparación a un plástico de calibre 400 y sombra de 15 %. Para el caso del mildiu el plástico de mayor sombra aumenta el daño por esta enfermedad.

## LITERATURA CITADA

- Bauer, P., R. Elbaum, and I. M. Weiss. 2011. Calcium and silicon mineralization in land plants: Transport, structure and function. *Plant Science* 180: 746-756.
- Bowen, P., J. Menzies, D. Ehret, L. Samuels, and A. D. M. Glass. 1992. Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew on Grape Leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(6): 906-912.
- Epstein, E. 2001. Silicon in plants: Facts vs concepts. *In: Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndörfer (eds). Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science. pp 1-15.
- Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155: 155-160.
- Horst, R.K. and A. Cloyd R. 2007. *Compendium of rose Diseases and Pests*. The American Phytopathological Society. 83 p.
- Hwang, S. J., H. M. Park, and B. R. Jeong. 2005. Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose 'Pinocchio' grown on rockwool and its cut flower quality. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 74: 242-247.
- Mattson, N. S., and W. R. Leatherwood. 2010. Potassium Silicate Drenches Increase Leaf Silicon Content and Affect Morphological Traits of Several Floriculture Crops Grown in a Peat-based Substrate. *HortScience* 45(1): 43-47.
- Shetty, R., B. Jensen, P. Shetty N., M. Hansen, K. Starkey R. and J. L. Jorgensen H. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology* 61: 120-131.

SIAP. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350).

Consultado el 25 de octubre de 2013.

Vogel, A. I. 1955. A textbook of quantitative inorganic analysis. Longmans. London, England.

Voogt, W. and C. Sonneveld. 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. *In: Silicon in Agriculture*. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndörfer (eds). Amsterdam, The Netherlands. 2001. Elsevier Science. pp 115-131.

Wolff, S. A., I. Karoliussen, J. Rohloff, and R. Strimbeck. 2012. Foliar applications of silicon fertilisers inhibit powdery mildew development in greenhouse cucumber. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10(1): 355-359.

Yanar, Y., D. Yanar, and N. Gebologlu. 2011. Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate ( $K_2SiO_3$ ). *African Journal of Biotechnology* 10(16): 3121-3123.

## Anexo A

### FIRST REPORT OF *Peronospora sparsa* ON *Rosa* spp. IN MEXICO

D. López-Guisa<sup>1</sup>, M. J. Yáñez-Morales<sup>1</sup> and I. Alanis-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Mpio. de Texcoco, C.P. 56230. Estado de México, México.*

In Mexico, the state of Mexico is the main producer of greenhouse roses (*Rosa* spp.) for cutflower with around 650 ha in production. During the seasons of high relative humidity and mild temperatures, yellow to red or purplish rectangular spots appear on leaves, delimited by veins; on stems and sepals the spots are rather round and of a reddish to purple coloration. Incidence ranges from 27-74% and in severe cases, defoliation of plants occurs. To identify the associated pathogen, morphology was described by observing signs from ten symptomatic leaves and stems of six varieties (Conga, Grande Classe, Opera, Polo, Titanic and Vendela), that were collected during July 2012, in Villa Guerrero (18.97 N, 99.65 W), state of Mexico. To confirm pathogen identity, the ITS region of the rDNA was amplified by nested PCR (Lindqvist *et al.*, 1998) and sequenced using the PS3 and PS1 primers (Aegerter *et al.*, 2002). By morphological characterization, *Peronospora sparsa* Berk was identified (Horst and Cloyd, 2007). On the underside of leaves were observed, emerging from stomata, hyaline sporangiophores, 300-625 µm, branched 3-4 times, with bifurcated tips 5-22 µm. Sporangia were hyaline, subglobose to ellipsoidal, 14-22 × 13-20 µm and seldom of them with a tiny stalk. No structures were found on stems. The obtained sequence (GenBank accession No. KF541660), from the ITS-rDNA region,

showed 99.1% of similarity index with *P. sparsa* on *R. multiflora* (GenBank accession No. AY608610). In the region of study, disease management consists mainly of fungicide applications every 5-7 days. Otherwise, this pathogen will affect flower bud aperture and size, thus delimitating the crops commercial value. To our knowledge, this is the first report of downy mildew, *P. sparsa*, on roses in Mexico.

#### REFERENCES:

- Aegerter B.J., Nuñez J.J., Davis R.M., 2002. Detection and management of downy mildew in rose rootstock. *Plant Disease* **86**: 1363-1368.
- Horst R.K., Cloyd A.R., 2007. Compendium of Rose Diseases and Pests. 2nd Ed. APS Press, St. Paul, USA.
- Lindqvist H., Koponen H., Valkonen J.P.T., 1998. *Peronospora sparsa* on cultivated *Rubus arcticus* and its detection by PCR based on ITS sequences. *Plant Disease* **82**: 1304-1311.

## Anexo B

Cálculos para el producto Resistent<sup>®</sup>, que contiene 40% de  $K_2SiO_3$

Silicato de Potasio=  $K_2SiO_3$

Porcentaje de composición por elemento

Elemento	Símbolo	Masa atómica	# de átomos	% de masa
Silicio	Si	28.0855	1	18.20%
Oxígeno	O	15.9994	3	31.11%
Potasio	K	39.0983	2	50.69%

$$\begin{array}{l} 72800 \text{ mg Si} \\ 1 \text{ mg Si} \end{array} \qquad \begin{array}{l} 1000 \text{ ml Resistent} \\ x \text{ ml Resistent} \end{array}$$

$$x = 0.01374$$

0.01374 ml de Resistent contienen  $1 \text{ mg Si L}^{-1}$