

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON SILICIO COMO ALTERNATIVA CONTRA LA MARCHITEZ CAUSADA POR *Fusarium oxysporum* (SHELD) EN TOMATE DE CÁSCARA

R. Gómez Camacho¹; Ma. De las N. Rodríguez Mendoza^{2¶};
E. Cárdenas Soriano³; M. Sandoval Villa²; M. T. Colinas de León⁴

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Unidad Zumpango, Zumpango, México. MÉXICO.

²Área de Nutrición Vegetal. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e: marinie@colpos.mx. (¶Autor responsable).

³IFIT. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5. Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

⁴Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la fertilización foliar con Si y miel de abeja sobre el control de la marchitez en tomate de cáscara, se instaló en campo, en el municipio de Zumpango, México, un experimento cuyos tratamientos derivaron de la combinación de dos fertilizantes foliares (NV3 y NV5), miel de abeja al 2 % y Si soluble (0.1 y 0.2 %); además de un tratamiento testigo y tres tratamientos para verificar el efecto simple de la fertilización foliar y la miel de abeja. La incidencia de la enfermedad se manifestó en forma aleatoria en todos los tratamientos. La severidad evaluada en el cultivo, en tres fechas de muestreo, varió en función de los tratamientos y disminuyó hasta 80 % en el segundo muestreo en aquellas plantas donde se aplicó silicio y miel de abeja al follaje. El análisis microscópico de las hojas mostró la presencia de cristales de silicio acumulados en las paredes del xilema de las hojas que recibieron Si vía foliar. En la cosecha se obtuvieron rendimientos hasta de 14.5 t ha⁻¹, 98 % más producción que lo que obtiene el productor con el manejo tradicional.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Physalis ixocarpa* Brot., miel de abeja, formulaciones foliares, absorción nutrimental.

FOLIAR FERTILIZATION WITH SILICIO AS AN ALTERNATIVE AGAINST WILTING CAUSED BY *Fusarium oxysporum* (SHELD) IN HUSK TOMATE

SUMMARY

In order to evaluate the effect of foliar fertilization with Si and bee honey on the control of wilting on the husk tomato a field experiment was installed in the Zumpango, Mexico municipality. The experimental treatments were derivations of a combination of two foliar fertilizers (NV3 and NV5), bee honey at 2 % and Si soluble (0.1 % and 0.2 %); also a control and three treatments to verify the simple effect of the foliar fertilization and bee honey. The incidence of the disease was manifested in an aleatoria form in all the treatments. The evaluated severity on the crop, made on three sampling dates, varied as a function of the treatments and lessened up to 80% in the second sample in the plants where silica and bee honey was applied to the foliage. The microscopic analysis of the leaves showed the presence of silica crystals accumulated on the walls of the xilema of the leaves that received Si vía foliar. Yields of up to 14.5 t ha⁻¹, were obtained in the harvest, 98 % more than that obtained by producers using traditional methods.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Physalis ixocarpa* Brot., bee honey, foliar formulations, nutritional absorption

INTRODUCCIÓN

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) es un cultivo popular en México y otros países de América Latina. En Estados Unidos se ha incrementado su demanda por el consumo sobre todo por la población latina (Díaz-Pérez *et*

al., 2005). En este cultivo ocurre la enfermedad de la marchitez del tomate de cáscara cuyo agente causal es *Fusarium oxysporum* (Sheld). El síntoma característico de esta enfermedad es la necrosis de los haces vasculares, fácilmente apreciable en tallos infectados; en plantas adultas los síntomas son visibles entre la etapa de floración

y maduración del fruto (Jones *et al.*, 1982, Smith *et al.*, 1988). La pérdida de cosecha llega hasta 100 % en las áreas productoras (Mendoza, 1996).

De acuerdo con Mendoza (1996), en el control de la marchitez se debe incluir el tratamiento de la semilla, desinfección del suelo y la aplicación constante de fungicidas; los dos últimos métodos son costosos y causan contaminación del ambiente, por lo que se buscan fuentes de control menos peligrosas, menos tóxicas y más baratas. Esto conduce hacia el manejo del cultivo considerando la nutrición de la planta en la resistencia a patógenos, y de esta forma puede disminuir el problema en los sistemas de producción.

La aplicación de nitrógeno y potasio para la obtención de cultivos sanos y productivos ha sido ampliamente documentada (Marshner, 2002); otros elementos como es el caso del silicio (Si) pueden contribuir significativamente en la obtención de cultivos sanos, ya que existe una relación directa entre la acumulación del Si en la pared celular y la absorción de potasio (Fageria *et al.*, 1997). La concentración de Si en la planta oscila entre 1 y 10 %, con base en peso seco (Epstein, 1994); influye en muchos aspectos de la biología de la planta; la similitud que tiene con el fósforo y boro ha hecho que investigadores mencionen un posible reemplazo o interferencia en las funciones de estos iones, como formar compuestos con azúcares-alcoholes o ácidos orgánicos (Navarro y Navarro, 2000). El Si disminuye los efectos de deficiencias o excesos de nutrimentos como el manganeso y el aluminio, aumenta la interceptación de la luz (mayor tasa fotosintética) y reduce la susceptibilidad a enfermedades causadas por hongos (Belanger *et al.*, 1995; Hodson y Evans, 1995; Epstein, 1999).

En la resistencia de las plantas a enfermedades, existen informes que indican una relación directa entre la acumulación del Si en el tejido vegetal y la disminución del ataque de patógenos en la planta (Dann y Muir, 2002).

A nivel experimental, se tiene conocimiento que la aplicación foliar de miel de abeja disminuye la incidencia y severidad del daño por patógenos, posiblemente debido a una resistencia adquirida por la absorción de la planta de los oligosacáridos y aminoácidos presentes en la miel de abeja (Joseph *et al.*, 2002).

Con base en lo antes mencionado, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación foliar de silicio y miel de abeja en el control de la marchitez en tomate de cáscara causado por *Fusarium oxysporum* (Sheld).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el municipio de Zumpango, que se ubica al norte de la zona oriente del Estado de México, en un área agrícola infestada en forma

natural por *Fusarium oxysporum* (Sheld). Al inicio del trabajo experimental se tomó una muestra representativa del suelo y se caracterizó en sus propiedades físicas y químicas. El clima de la región es BS,K'w(w)(i'); semiseco, el menos seco de los BS, templado con verano fresco, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C (García, 1988).

La variedad de tomate de cáscara que se usó fue Rendidora de ciclo a la madurez de 90 días con aparición de primeras flores de 28 a 30 días y amarre de frutos a los 35 días (Saray y Loya, 1977).

La germinación de la semilla se llevó a cabo en charolas de unisel en un invernadero de producción comercial, utilizando como sustrato Peat moss®. Como pretratamiento se hicieron tres aplicaciones foliares con solución de miel de abeja al 2 % hasta el momento del trasplante. A los 28 días después de la siembra, en forma manual se hizo el trasplante, sobre el terreno regado con una lámina de 30 cm, barbechado y surcado (1.30 m entre surcos) y a una distancia entre plantas de 40 cm, una planta por mata, lo cual resulta en una unidad experimental de 78 m².

Se aplicaron dos fertilizantes foliares NV3 (Urea, 2.0 g; NH₄NO₃, 2.0 g; KNO₃, 2.0 g; KH₂PO₄, 2.0 g; H₃BO₃, 0.5 g; MnSO₄, 4.0 g; CuSO₄, 0.5 g; ZnSO₄, 0.5 g; Fé-EDTA, 5 ml) y NV5 (Urea, 1.0 g; HMoO₄, 0.5 g; MnSO₄, 4.0 g; CuSO₄, 0.5 g; ZnSO₄, 0.5 g; Fe-EDTA, 5 ml) (Rodríguez *et al.*, 1998); elaborados en el Colegio de Postgraduados (patente en trámite) mezclados con miel de abeja (MA) y Si soluble (0.1 y 0.2 %).

En total se establecieron diez tratamientos (Cuadro 1). El testigo se compuso de la fertilización que el productor realiza en el cultivo. Partiendo de este antecedente se complementó con la fertilización foliar compuesta de NV3 y NV5, silicio al 0.1 y 0.2 %, y miel de abeja al 2 %, en sus diferentes combinaciones.

CUADRO 1. Descripción de los tratamientos aplicados al cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Zumpango Estado de México.

Tratamiento	Descripción
1	300 kg de triple 17 + 1 kg de I-30-30 (testigo)
2	NV3 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
3	NV3 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
4	Si 0.1 % + MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
5	Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
6	NV5 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
7	NV5 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
8	Si 0.1 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
9	Si 0.2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30
10	MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30

Durante el desarrollo del cultivo se monitoreó la incidencia de la marchitez en las plantas de cada tratamiento, con base en porcentaje del total del área sembrada y la severidad se determinó en tres fechas (23, 38 y 53 días después del trasplante, DDT) con base en la siguiente escala: sin hojas dañadas: 0 %, 1 a 7 hojas dañadas: 20 %; 8 a 14 hojas dañadas: 40 %; 15 a 21 hojas dañadas: 60 %; 22 a 28 hojas dañadas: 80 %; 28 o más hojas dañadas: 100 %.

La evidencia de que *Fusarium oxysporum* fue el causante de la sintomatología observada fue dada por el aislamiento *in vitro* del hongo, según el método propuesto por Nelson *et al.* (1983) y la identificación taxonómica propuesta por Barnett y Hunter (1972).

En la cosecha, al tercer corte, se cuantificó el rendimiento por hectárea, la concentración nutrimental, determinando nitrógeno por el método Microkeldhal (Alcántar y Sandoval, 1999), P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, y Si en el ICP-AES (Espectrofotómetro de emisión atómica con inducción acoplada con plasma modelo Liberty II secuencial marca Varian). También se determinó la depositación de silicio en el tejido vegetal por medio del método de Bozzola y Russell (1992) y observaciones mediante el microscopio electrónico de barrido. Para la observación al microscopio, la muestra se lavó con agua, se cortó transversalmente, se fijó en glutaraldehído al 2.5 % por 90 min, seguido de tres enjuagues con una solución de fosfato pH 7.2 0.16 M y deshidratación de las muestras en series de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 (dos veces) y 100 % en etanol por 15 min cada una; posteriormente se realizó el secado (secador Samdri 780) y el fijado en un cilindro metálico de latón. Finalmente se recubrió la muestra con oro en un equipo Jcol-10nSpotter J. F. C 1100.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis físico y químico del suelo mostró que éste es ligeramente alcalino, con bajo contenido de materia orgánica, con niveles bajos de nitrógeno y potasio (Cuadro 2). Suelo arenoso (80.36 %) con posibles problemas de retención de humedad, debido a la alta proporción de arena con respecto al limo y arcilla. Por el pH alto (8.0) es posible que ocurra una deficiencia de disponibilidad de micronutrientes (Castellanos *et al.*, 2000).

La incidencia de la enfermedad se manifestó en forma aleatoria en todas las plantas de los tratamientos. El amarillamiento en las hojas no ocurrió con simetría, se encontró en hojas jóvenes y viejas a partir de 26 días después del trasplante, lo que demuestra que hay un ataque de patógenos y no una deficiencia nutrimental como tal, sino como reflejo de la enfermedad. La severidad se manifestó a partir del segundo muestreo, 38 días después del trasplante.

CUADRO 2. Propiedades físico-químicas del suelo del sitio de experimentación en Zumpango, Estado de México.

	Propiedades químicas					
	pH	CE (dS·m ⁻¹)	K	Ca	Mg (cmol·kg ⁻¹)	Na
Resultado	8.0	0.19	0.18	8.09	1.23	0.05
Clasificación	alcalino		Bajo	Media	Media	Bajo
	N	P	Fe	Cu	Zn	Mn
Resultado	0.07	18	1.94	0.31	2.47	9.2
Clasificación	Bajo	Normal	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Propiedades físicas						
Materia orgánica	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación		
1.39 (mediana-mente pobre)	8.36 %	11.28 %	80.36 %	Arena migajosa		

A los 23 DDT no hubo severidad de la enfermedad. Los síntomas de mayor severidad (40 %) ocurrieron durante el segundo muestreo y mostraron diferencias entre tratamientos; aquellas plantas que tenían en común la combinación de Si y miel de abeja presentaron menor severidad en este muestreo, lo que confirma que este elemento aumenta la tolerancia a la enfermedad en las plantas, no sólo en la resistencia fisiológica sino también la agresividad patogénica (Savant *et al.*, 1999). Fauteux *et al.* (2005) le designan al Si la propiedad de bioactivador, como regulador en los mecanismos de defensa de la planta; esta bioactividad se debe en parte a que el Si forma enlaces con los grupos oxidrilos de las proteínas e interfiere con cofactores catiónicos de enzimas relacionadas con la patogenicidad (Cuadro 3).

A los 53 DDT, independientemente del tratamiento, ocurrió el nivel más alto de severidad, lo que coincidió con exceso de humedad por el temporal de lluvias ya establecido; sin embargo, lo más relevante fue el haber obtenido cosecha independientemente de la presencia del hongo, ya que en años pasados no sobrevivió el cultivo ni 30 días después del trasplante debido al daño producido por el hongo. Estos resultados demuestran que el manejo nutrimental de las plántulas en el almácigo, mediante la aplicación de miel de abeja al follaje fortalece al cultivo (Villegas *et al.*, 2001).

Las observaciones del medio de cultivo donde se aisló el hongo y las observaciones al microscopio indicaron la presencia de conidióforos alargados con microconidios hialinos, pequeños, elípticos, clamidospores de 1-2 células; macroconidios finos, alargados con 3-5 células y pared delgada, características morfológicas que corresponden a *Fusarium oxysporum* (Mendoza, 1996). Además del hongo, se detectaron tres virus; el jaspeado del tabaco (TEV), de la marchitez manchada del tomate (TSWV) y cálica del *Physalis* (PhCaV). Estos virus ya habían sido identificados

CUADRO 3. Severidad causada por *Fusarium oxysporum* y rendimiento en tomate de cáscara en Zumpango Estado de México.

Núm.	Tratamientos Descripción	(Severidad %)			Rendimiento (tha ⁻¹)
		23 DDT	38 DDT	53 DDT	
1	300 kg de triple 17 + 1 kg de I-30-30 (testigo)	0	40	100	7.3 b ^z
2	NV3 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	11.1 ab
3	NV3 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	14.5 a
4	Si 0.1 % + MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	9.0 ab
5	Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	13.2 a
6	NV5 + Si 0.1% + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	9.7 b
7	NV5 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	20	100	8.6 b
8	Si 0.1 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	40	100	10.3 ab
9	Si 0.2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	40	100	8.9 b
10	MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0	40	100	9.4 ab

^zValores con la misma letra dentro de factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

I = intergusan; (NV3 = Urea, 2.0 g; NH_4NO_3 , 2 g; KNO_3 , 2 g; KH_2PO_4 , 2 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 0.5 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 1 ml-litro⁻¹; NV5 = Urea 1 g; HMoO_4 , 0.5 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 4.0 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 5 ml-litro⁻¹; MA = miel de abeja).

en las zonas productoras de tomate de cáscara del Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala (De la Torre *et al.*, 1998). *Fusarium* spp. afecta diferentes cultivos y es un verdadero problema en la producción de frutas y hortalizas; ya se detectó el patógeno en pepino bajo condiciones de producción intensiva en invernadero (Mathur y Utkhede, 2004).

El rendimiento en los tres cortes mostró diferencias altamente significativas (Cuadro 3). Los tratamientos tres y cinco presentaron los más altos rendimientos; a pesar que estos valores están muy por debajo de lo obtenido por Ramos *et al.* (2002), quienes obtuvieron en promedio 28 t·ha⁻¹, de hecho el máximo rendimiento obtenido es equivalente al 50 % de lo reportado por estos autores. Sin embargo, es importante mencionar que en el cultivo en campo se presentó tanto *Fusarium oxysporum* como otros virus, lo que merma notablemente el rendimiento. Los tratamientos con los más altos rendimientos (T3 y T5) son los que tienen en común la aplicación de Si al 2 % y miel de abeja. El testigo tuvo la producción más baja (7.3 t·ha⁻¹), mientras que el tratamiento 10, al que sólo se le aplicó miel de abeja, superó en 28.7 % al testigo. La SAGARPA (1999) reporta para el Estado de México un rendimiento promedio regional de 20 t·ha⁻¹. Los resultados obtenidos en el presente experimento equivalen al 72.5 % del rendimiento promedio, lo cual es atractivo considerando la presencia del hongo en el cultivo.

La concentración de nitrógeno en las plantas fue baja y correlacionó con la clorosis y moteado que se presentó en el cultivo. Las plantas testigo presentaron el valor más bajo (0.30 g·kg⁻¹) y el rendimiento también. Los tratamientos tres y cinco que se les aplicó Si y miel de abeja superaron hasta 156 % más la concentración de nitrógeno con relación al testigo (Cuadros 4 y 5). Al igual que Castro *et al.* (2000), los niveles más altos de nitrógeno encontrados están

relacionados con el mayor rendimiento del cultivo.

El fósforo presentó valores de 1.15 hasta 3.29 g·planta⁻¹.

Las concentraciones de potasio, calcio y magnesio no mostraron valores consistentes entre los tratamientos.

El contenido de B resultó bajo para el tratamiento uno y seis, mientras que los tratamientos dos, cinco y nueve presentaron los valores más altos: existió una relación directa entre la concentración de calcio y la de boro en los diferentes tratamientos. Edginton y Walter (1958) indican que concentraciones de B desde 0.001 hasta 10 mg·kg⁻¹ combinado con 100 mg·kg⁻¹ de Ca disminuyen la severidad de *Fusarium oxysporum* en *Lycopersicon esculentum*. Las concentraciones obtenidas en el presente trabajo están muy por arriba de los valores reportados por estos autores. Las plantas donde se observaron niveles altos de B fueron a las que se les aplicó Si al follaje.

Los contenidos de Cu, Zn, y Mn en hojas fueron bajos, a pesar de haberse aplicado al follaje en los fertilizantes NV3 y NV5; en el caso de Fe los valores fueron muy bajos y se relacionaron con la clorosis que presentó el cultivo.

El silicio no es esencial para algunos cultivos; sin embargo, en el presente trabajo se ha demostrado que aquellas plantas a las que se les aplicó vía foliar presentaron mayor resistencia a la enfermedad, ya que a pesar de la presencia de *Fusarium* hubo producción de fruto. El análisis foliar de Si (Figura 1), muestra que el tratamiento cinco presentó la mayor concentración (37.5 mg). Al igual que Rodgers y Shaw (2004) no se encontró una relación entre la cantidad de silicio aplicado y la concentración en el tejido vegetal.

CUADRO 4. Concentración de macronutrientes en tomate de cáscara.

Tratamientos		Macronutrientes (g·kg ⁻¹)				
Núm.	Descripción	N	P	K	Ca	Mg
1	300 kg de triple 17 + 1 kg de I-30-30 (testigo)	0.30 h	1.76 f	0.50 d	0.21 c	0.07 c
2	NV3 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.47 d	3.29 a	1.40 a	0.41 a	0.15 b
3	NV3 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.76 b	2.81 b	0.75 c	0.36 ab	0.11 bc
4	Si 0.1 % + MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.52 c	1.15 h	0.96 b	0.26 b	0.15 b
5	Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.77 a	2.98 ab	1.12 b	0.40 a	0.20 a
6	NV5 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.41 g	1.46 g	0.79 c	0.24 bc	0.07 c
7	NV5 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.41 g	1.41 g	0.76 c	0.23 bc	0.09 c
8	Si 0.1 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.52 c	1.72 fg	0.96 b	0.14 d	0.10 c
9	Si 0.2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.44 f	1.80 f	1.25 a	0.30 b	0.12 bc
10	MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.46 e	1.52 g	0.73 c	0.22 c	0.08 c

^aValores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

I = intergusan. (NV3 = Urea, 2.0 g; NH_4NO_3 , 2 g; KNO_3 , 2 g; KH_2PO_4 , 2 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 0.5 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 1 ml-litro⁻¹; NV5 = Urea 1 g; HMoO_4 , 0.5 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 4.0 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 5 ml-litro⁻¹; MA = miel de abeja).

CUADRO 5. Concentración de micronutrientes en hojas de tomate de cáscara.

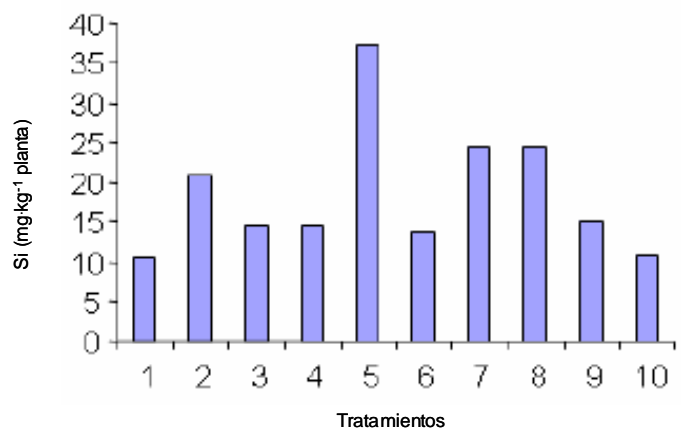
Tratamientos		Micronutrientes (mg·kg ⁻¹)				
Núm.	Descripción	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	300 kg de triple 17 + 1 kg de I-30-30 (testigo)	0.53 d	3.64 a	31.26 a	0.64 c	0.74 f
2	NV3 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	1.07 a	0.45 b	33.51 a	3.36 b	2.98 a
3	NV3 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.83 bc	0.41 b	28.08 b	2.60 cd	2.28 b
4	Si 0.1 % + MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.69 c	0.46 b	16.08 d	1.92 d	1.46 def
5	Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.98 b	0.59 b	42.41 a	2.46 cd	1.67 bc
6	NV5 + Si 0.1 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.54 cd	0.36 bc	20.58 c	3.09 bc	1.63 bc
7	NV5 + Si 0.2 % + MA al 2 % + 200 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.69 c	0.23 bc	26.76 b	3.78 a	4.30 a
8	Si 0.1 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.78 bc	0.35 bc	23.75 bc	2.00 d	1.21 ef
9	Si 0.2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	1.10 a	0.36 bc	21.81 c	2.20 d	1.52 bcd
10	MA al 2 % + 300 kg triple 17 + 1 kg de I-30-30	0.69 c	0.34 bc	26.03 b	3.59 a	2.07 bc

^aValores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la Prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

I = intergusan. (NV3 = Urea, 2.0 g; NH_4NO_3 , 2 g; KNO_3 , 2 g; KH_2PO_4 , 2 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 0.5 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 1 ml-litro⁻¹; NV5 = Urea 1 g; HMoO_4 , 0.5 g; H_3BO_3 , 0.5 g; MnSO_4 , 4.0 g; CuSO_4 , 0.5 g; ZnSO_4 , 0.5 g; Fe-EDTA 5 ml-litro⁻¹; MA = miel de abeja).

En esta investigación la concentración de Si varió de 10.5 a 37.5 mg·kg⁻¹ de materia seca que se considera bajo (Epstein, 1999), por lo que se puede clasificar al tomate de cáscara como una planta no acumuladora de Si: fue notable que las plantas que recibieron la dosis mayor de Si presentaron los valores más bajos de severidad en el segundo muestreo.

El análisis de la depositación del Si mostró que en las células del xilema de las plantas testigo no hubo partículas de Si (Figura 2A). La Figura 2B corresponde al xilema de las plantas asperjadas con NV3 + Si 0.2 + MA 2 % y la Figura 2C que son células del xilema de plantas asperjadas con Si 0.2 + MA 2 % presentan las depositaciones de Si. En el análisis microscópico no se encontró una tendencia directa entre las concentraciones foliares de este elemento

**FIGURA 1. Concentración de Si (mg·kg⁻¹) presente en plantas de tomate de cáscara infectadas por *Fusarium oxysporum*.**

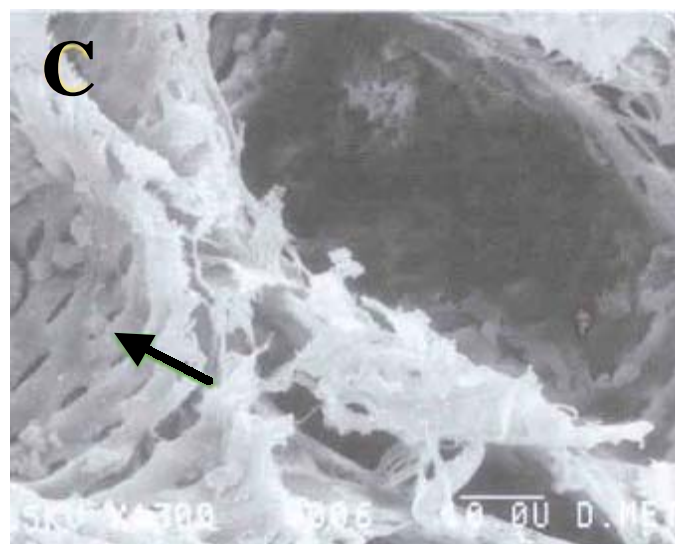
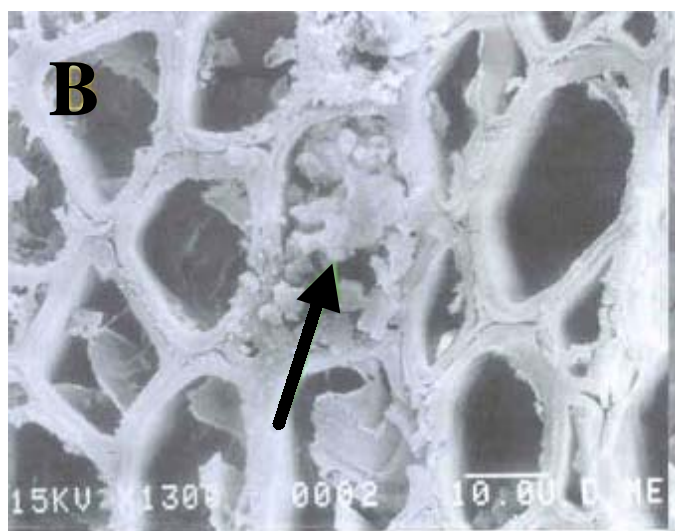
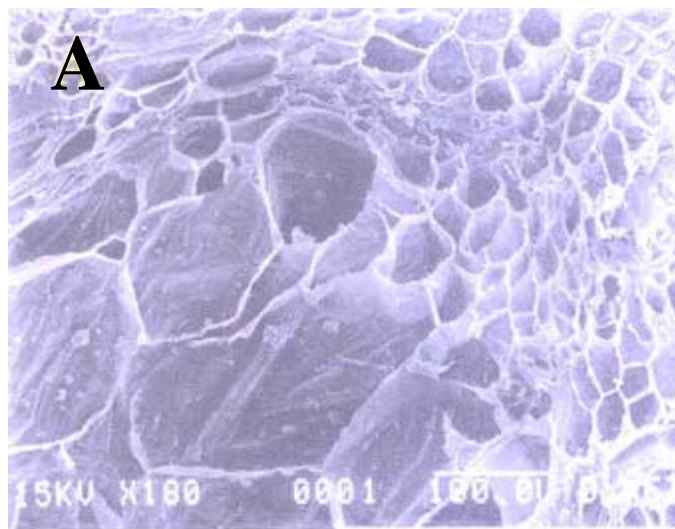


FIGURA 2. Fotografías al microscopio electrónico de barrido. A) La acumulación no se presenta en el testigo. B) Acumulación de silicio en xilema de plantas que fueron asperjadas con fertilizante foliar NV3 + Si 0.2 % + miel de abeja a 2 %. C) xilema de plantas asperjadas solo con Si 0.2 % y miel de abeja a 2 %.

aplicado y la cantidad de partículas en el tejido. Las imágenes presentan la evidencia de la depositación del silicio en pared celular y espacios intercelulares.

Epstein (1994), hizo un análisis de tres investigaciones relacionadas con la concentración de Si en el tejido vegetal destaca una amplia variación en el contenido de este elemento entre especies y dentro de genotipos de la misma especie. La relación entre la aplicación de Si y el contenido de éste en la planta, no queda aún clara, pero el cultivo presentó menor daño por *Fusarium* cuando se hicieron aplicaciones foliares de Si (Parry y Soni, 1977). Aún no se sabe con exactitud si el papel del Si en la resistencia de la planta es una protección mecánica pasiva, pero en el 2002, Danny y Muir, demostraron que el Si activa metabolitos de bajo peso molecular y que induce un incremento en la actividad de las proteínas relacionadas con mecanismos de defensa como quitinasa y β 1-3 gluconasa.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación foliar de Si y miel de abeja a las plantas modifican la resistencia y severidad al ataque de patógenos.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de miel de abeja a las plántulas de tomate de cáscara favoreció la producción de frutos en presencia de *Fusarium oxysporum*.

La combinación foliar de silicio y miel de abeja disminuyó la severidad de daño por *Fusarium oxysporum*.

El manejo nutrimental que se dio a las plantas incrementó al doble el rendimiento ($14.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) con relación al testigo.

LITERATURA CITADA

- ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. Burgess Publishing Company. Minneapolis, USA. 366 p.
- BOZZOLA, J. J.; RUSSELL, L. D. 1992. Electron Microscopy. Principles and Techniques for Biologists. Jones and Bartlett Publisher. Toronto, Canada. 542 p.
- CASTELLANOS J. Z.; UVALLE-BUENO, J. X.; AGUILAR-SANTELISES, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª Edición. Colección INCAPA. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel Allende, Guanajuato. México
- CASTRO-BRINDIS, R.; SÁNCHEZ, G. P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; ALCANTAR, G. G.; BACA C., G. A.; LÓPEZ R., R. M. 2000. Nitratos en extracto celular de peciolo y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 33-38.

- DANN, E. K.; MUIR, S. 2002. Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and β 1,3-glucanase are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Australasian Plant Pathol.* 31: 9-13.
- DE LA TORRE A., R.; TÉLIZ O., D.; BARRÓN R. B.; CÁRDENAS, S. E.; GARCÍA L., M. E. 1998. Identificación de un complejo viral en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* B) en la región centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 16(1): 1-11.
- DÍAZ-PÉREZ, J. C.; PHATAK, S. C.; BERTRAND, D. M. 2005. Root zone temperature, plant growth and fruit yield of tomatillo as affected by plastic film mulch. *Hortscience* 40(5): 1312-1319.
- EDGINTON, L. V.; WALTER, J. C. 1958. Influence of calcium and boron nutrition on development of *Fusarium* wilt tomato. *Phytopathology* 48: 324-326.
- EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol and Plant Mol. Biol.* 50: 641-664.
- EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Washington, D. C., 91: 11-17
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, CH. A. 1997. The role of essential nutrients on plant diseases. pp 199-218 *In*: Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker Inc. New York.
- FAUTEUX F.; RENUS-BOREL, W.; MENZIES J. G.; BELANGER R. R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *Fems Microbiology Letters* 249(1): 1-6.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a la República Mexicana). 4ª Edición. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- HODSON, M. L.; EVANS, D. E. 1995. Aluminium/silicon interactions in higher plants. *J. Exp. Botany* 45: 161-171
- JONES, J. P.; JONES, J. B.; MILLAR, W. 1982. *Fusarium* wilt on tomato. *Plant Pathology Circular* No 237. Fla. Dept. Agric. and Consumer Serv., Div. of Plant Industry.
- JOSEPH, L. P. D.; RODRÍGUEZ, M. M. N.; SÁNCHEZ, G. P.; MORA, A. A.; CÁRDENAS, S. E. 2002. Foliar fertilization of mango (cv Haden) for the control of malformation. *Acta Hort.* 594: 667-673.
- MATHUR, S.; UTKHEDE, R. 2004. Molecular detection of *Fusarium subglutinans*, the causal organism of internal fruit rot in greenhouse peppers. *Canadian Journal of Plant Pathology-Review Canadienne de Phytopathologie* 26(4): 514-521.
- MARSCHNER, H. 2002. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd. Edition. Academic Press. New York, USA. 888 p.
- MENDOZA, Z. C. 1996. *Enfermedades Fungosas de Hortalizas*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 88 p.
- NAVARRO, B. S.; NAVARRO, G. G. 2000. *Química Agrícola*. Ed. Mundi-Prensa, Barcelona, España. 487 p.
- NELSON, P. E.; TOUSSON, T. A.; COOK, R. J. 1983. *Fusarium Disease Biology and Taxonomy*. The Pensilvania State University Press. U.S.A. 457 p.
- PARRY, D. W.; SONI, S. L. 1977. Electron-probe microanalysis of silicon in the roots of *Oriza sativa* L. *Ann. Bot.* 36: 781-783.
- RAMOS L. C.; ALCANTAR G. G.; GALVIS-SPINDOLA, A.; PEÑA-LOMELI, A.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2002. Eficiencia del uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra* 20(4): 465-469
- RODGERS-GRAY, B. S.; SHAW, M. W. 2004. Effects of straw and silicon soil amendments on some foliar and stem-base diseases in pot-grow winter wheat. *Plant Pathology* 53(6): 733-740.
- RODRÍGUEZ, M. N.; ALCÁNTAR, G. G.; AGUILAR, S. A.; ETCHEVERS, B. J. D.; SANTIZÓ, R. J. A. 1998. Estimación de la cuantificación de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16(2): 135-141.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, RECURSOS HIDRÁULICOS, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (SAGARPA). 1999. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. Tomo 1 México, D. F. 698 p.
- SMITH, I. M.; DUNEZ, J.; PHILLIPS, R. A.; ARCHER, S. A. 1988. *European Handbook of Plant Diseases*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 583 p.
- SARAY, M.; LOYA J. R. 1977. El cultivo del tomate de cáscara en el estado de Morelos. INIA CIAMEC. Circular 57.
- SAVANT, N. K.; KORNDOLFIR H. G.; SNYDER, H. G. 1999. Silicon and sugarcane production: A Review. *J. Plant Nutr.* 22: 1853-1903.
- VILLEGAS, T. O. G.; RODRÍGUEZ, M. N.; TREJO, L. C.; ALCÁNTAR, G. G. 2001. Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Terra* 18: 43-50.