

# RESPUESTA EN CHILE MANZANO A LA ABSORCIÓN DE SILICIO EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO

M.C. Jorge Alfredo Ortiz Quintero

29/11/2017



**En la diversidad de chiles cultivados, el chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) ha cobrado importancia en los últimos años.**



**Este tipo de chile es originario de América del sur, de los andes, y fue domesticado en Mesoamérica (Pérez y Castro, 1998).**

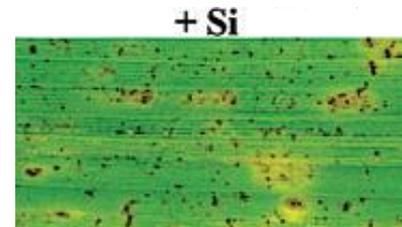
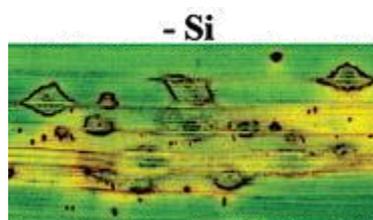
**El incremento en el cultivo la demanda de este producto ha motivado el desarrollo de sistemas de producción que eleven la productividad y calidad postcosecha (Espinosa, 2005).**

Las principales zonas donde está distribuido en México, son: Sierra Norte de Puebla (Tlatlahuiquitepec, Zacapoaxtla, Teziutlán); Tacámbaro y Zitácuaro, Michoacán, Centro de Veracruz (Huatusco, Coscomatepec y Zongolica), Coatepec Harinas, Villa Guerrero y San Miguel Tlaixpan, Edo. México; y San Cristóbal y Motozintla, en Chiapas.



La aplicación de Si para cultivos en suelo, ha generado interés de acuerdo con reportes científicos que indican un efecto benéfico en el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas bajo estrés abiótico (salinidad, acidez, toxicidad por Fe, Mn y Al) o biótico (plagas y enfermedades) (Epstein, 1994; 1999; Al-aghabary, *et al.*, 2004).

**Diversos textos mencionan que el Si promueve el crecimiento de plantas. En muchos casos el estímulo de crecimiento, es debido a la protección que el Si produce en las plantas contra los efectos perjudiciales.**



**En la solución del suelo, el Si está en forma de Ácido Monosilícico ( $H_4SiO_4$ ), con una concentración promedio de 15 a 20 mg Si L<sup>-1</sup> (Jones y Handreck, 1965).**

**Las plantas absorben el Si en diferentes cantidades de acuerdo a su especie y al tipo de absorción (Miyake y Takahashi, 1983).**

Las diferencias en contenido de Si en las plantas han sido atribuidas a la habilidad de las raíces para absorberlo (Takahashi *et al.*, 1990).

De acuerdo con Takahashi *et al.*, (1990), mediante la comparación entre la velocidad de absorción del Si, con la absorción del agua, se han propuesto tres formas de absorción de Si:

**Activa:** Mayor absorción de Si que absorción de agua; *v.g.* arroz.

**Pasiva:** Absorción de Si similar a la absorción de agua; *v.g.* pepino.

**Repelente:** Menor que la absorción del agua; *v.g.* tomate y chile.



# Silicio en la nutrición vegetal

**Epstein (1994), resume la importancia de las evidencias en:**

- a) Cuando el Si está ampliamente disponible en la solución nutritiva o en el suelo, el contenido de Si en el tejido vegetal es comparable a las concentraciones de K, Ca, Mg, S y P.**
- b) El Si afecta positivamente el crecimiento y desarrollo de muchas plantas, debido al incremento de la fuerza mecánica en paredes celulares, manteniendo erectas a las plantas y hojas, favoreciendo una mayor intercepción de la luz solar.**



# Silicio en la nutrición vegetal

**c) La impregnación de las paredes celulares con Si, incrementa la resistencia de las plantas al ataque de hongos e insectos fitopatógenos.**

**a) y e) Aplicaciones de Si**

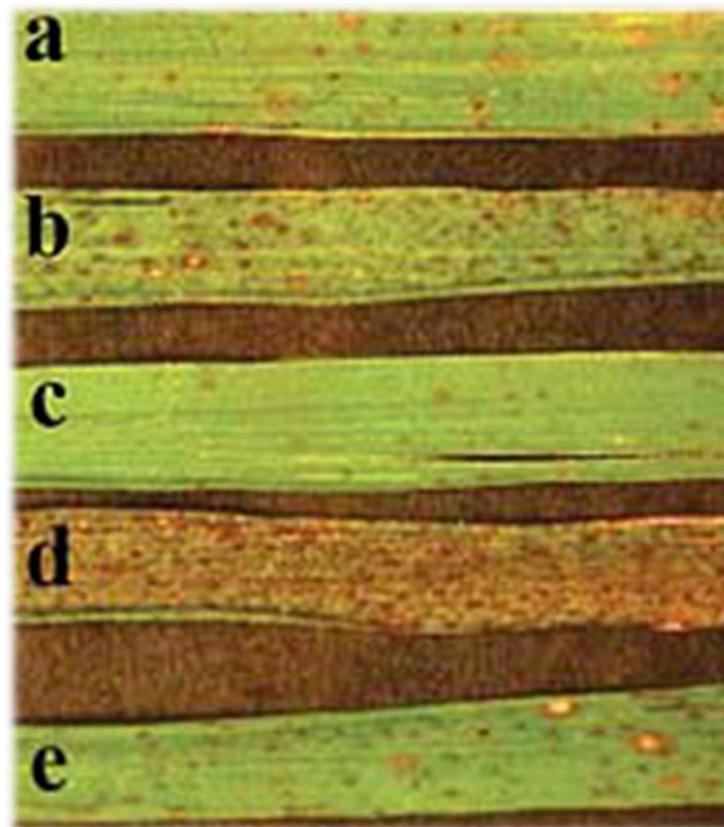
**b) Aplicaciones de Propiconazol**

**c) Combinación de Si + Propiconazol**

**d) Control**

**(Datnoff, et al., 1997).**

***Magnaporthe grisea***

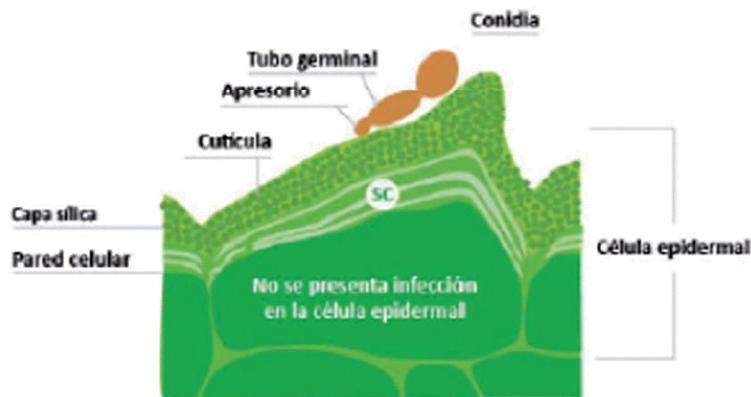


# Absorción y asimilación de silicio

El Si es absorbido por las plantas en forma de Ácido Monosilícico ( $H_4SiO_4$ ) y su transporte se realiza por el xilema (vía Apoplasto “Intercelular” {Pasivo}).

La mayoría del  $H_4SiO_4$  absorbido es depositado en el apoplasto, como sílice amorfo sólido (cristales), una vez depositado no puede ser removilizado (Samuels, 1991).

**BARRERA MECÁNICA**  
Capa doble de silicio - cutícula (Yoshida et al., 1966)



Doble capa de sílice debajo de la cutícula. No se presenta infección en la célula epidermal debido a que el patógeno no puede atravesar la capa de sílice.

## Sin Silicio



fig. 2

## Con Silicio

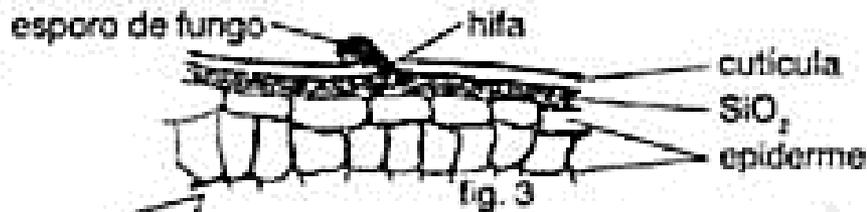


fig. 3

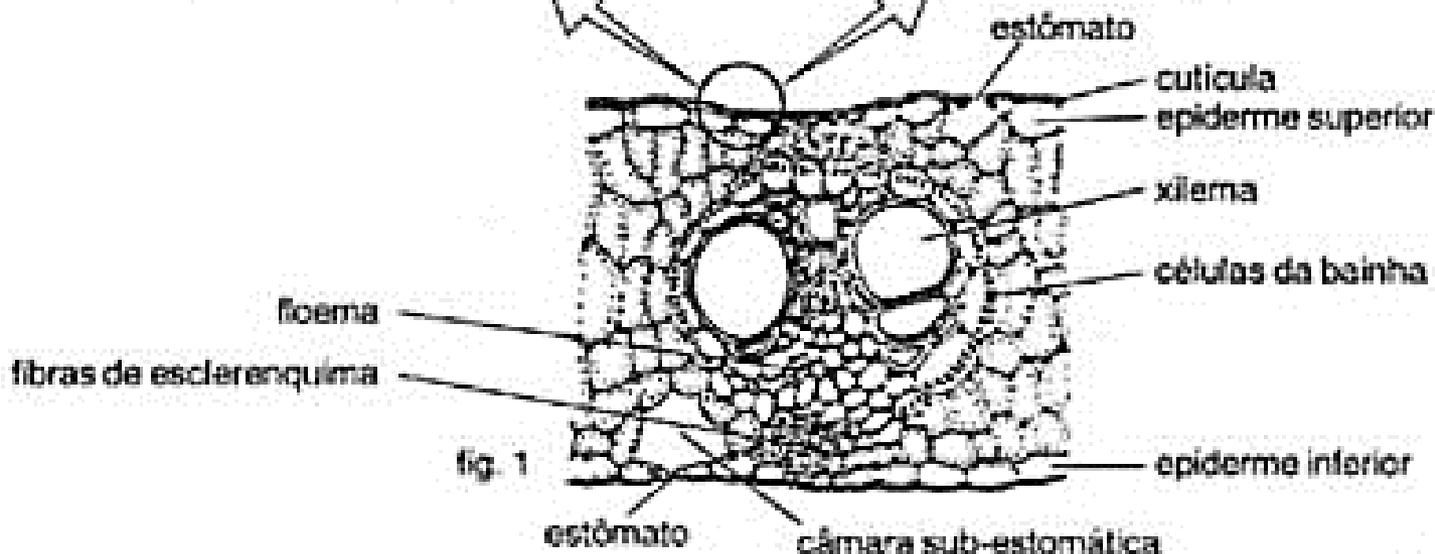


fig. 1

- **Comparar la solución nutritiva Steiner con la solución Espinosa que difiere en concentración nutrimental, adicionadas con 0, 0.5, 0.75, y 1 mol·m<sup>-3</sup> de SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (silicato).**
- **Evaluar el efecto en peso fresco, peso seco, diámetro de tallo, acumulación de silicio, potasio y calcio en plantas de chile manzano cultivado en un sistema hidropónico de subirrigación.**



# Materiales y métodos

**El experimento se estableció en el laboratorio de Agricultura Nutrición de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.**

**Se estableció el sistema hidropónico, empleando envases de pet transparentes de 1.5 L de capacidad.**

**En un diseño completamente al azar en 4 hileras de 10 cm de separación entre ellas y 10 cm entre filas.**



**Cuadro 1. Cantidad de fertilizante para preparar 1000 L de solución nutritiva Steiner, modificada por Pérez y Castro.**

Fuente	Concentración de la solución 100% (g)
Ácido fosfórico 85%	100 (mL)
Sulfato de potasio	870
Sulfato de magnesio	1230
Nitrato de potasio	750
Nitrato de calcio	1300
Sulfato ferroso	50
Sulfato de manganeso	10
Sulfato de zinc	5
Sulfato de cobre	5
Bórax	20

Fuente: Pérez y Castro, 2008.

# Solución Espinosa

Cuadro 2. Cantidades de fertilizante para preparar la solución nutritiva Espinosa

Fuente de Fertilizante	Concentración del elemento (ppm)	Volumen mL·L <sup>-1</sup>
		S. Espinosa
Nitrato de calcio	40000	5.75
Nitrato de amonio	28000	1.393
Ácido fosfórico	62000	1.2
Sulfato de potasio	39000	5.64
Sulfato de Magnesio	48000	1.25
Sulfato ferroso	7000	0.429
Sulfato de manganeso	55000	0.012
Sulfato de cobre	635	0.157
Ácido bórico	5500	0.127
Sulfato de zinc	13995.6	0.007

Los tratamientos consistieron en ocho soluciones nutritivas (SN) resultantes de la combinación de dos factores:

Concentración de  $\text{SiO}_3^{2-}$  (0, 0.5, 0.75 y 1  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y solución nutritiva (Steiner y Espinosa) en un diseño factorial completamente al azar.

Cuadro 3. Concentraciones empleadas en cada solución nutritiva para los ocho tratamientos

Tratamiento	$\text{SiO}_3^{2-}$	Solución nutritiva
	$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$	
1	0	Steiner
2	0.75	Steiner
3	0	Espinosa
4	0.75	Espinosa
5	0.5	Steiner
6	1	Steiner
7	0.5	Espinosa
8	1	Espinosa

Los aportes de Si, se realizaron 15 días después del trasplante; a base de metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ).

A la sal silícica se le ajustó el pH a  $8.0 \pm 0.3$ , mediante una mezcla triácido 1N, a base de  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .



Los nutrimentos (Si, K y Ca) se cuantificaron por el método de digestión húmeda (Alcántar y Sandoval, 1999) y su cuantificación se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica.

El análisis de varianza de las variables se realizó evaluando los factores principales del diseño factorial y la interacción de ambos.

La comparación de medias de las interacciones significativas se hizo mediante la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ). Estos análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Analysis System, versión 9 (SAS Institute).



## DIÁMETRO DE TALLO

Parra (2004), menciona que las concentraciones de  $0.75$  y  $1.5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{SiO}_3^{2-}$  incrementaron el diámetro de tallo con respecto al testigo en plantas de pepino, sin embargo, en ésta investigación no hubo efectos significativos de ambos factores.



## PESO FRESCO PARTE AÉREA

El análisis de varianza indicó, que no hay interacción entre los factores SN y aplicación de Si, con  $\alpha=0.05$ .

De acuerdo a la prueba de Tukey, las concentraciones de Si que causaron mayor peso fresco de la parte aérea (estadísticamente iguales), fueron  $0.5 \text{ mol.m}^{-3}$  (91.39 g) y  $1 \text{ mol.m}^{-3}$  (69.4 g).

Indicando además, que las SN no difieren.



## PESO FRESCO Y SECO DE RAÍZ

**Adatia y Besford (1986) reportan que las aplicaciones de Si (0 y 1.67 mol m<sup>-3</sup>) a la SN incrementaron en forma significativa el peso fresco y seco de la raíz de plantas de pepino, sin diferencias estadísticas en el rendimiento de frutos; algo similar en lo reportado por Parra (2004), ya que la aplicación de 0.75 y 1.5 mol SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> m<sup>-3</sup> también incrementó, aunque no significativamente, el valor de estas variables.**

**En el análisis de varianza, se encontró que no hay interacción entre factores, es decir, las concentraciones de Si producen el mismo efecto, al igual que ambas SN.**

## PESO SECO DE PARTE AÉREA

El análisis de varianza indica que no hay interacción entre factores SN y aplicación de Si, con  $\alpha=0.05$ , por lo que, en la comparación de medias se encontró que la adición de  $0.5$  y  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  causaron mayor acumulación de materia seca, mientras que el menor valor se obtuvo donde no se aplicó Si.

## PESO SECO TOTAL

El mayor peso seco total se obtuvo con  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  (22.880 g) y  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  (17.6 g), estadísticamente iguales.



## Cuadro 4. Comparación de medias para tratamientos y efectos principales de la concentración de $\text{SiO}_3^{2-}$ y la SN a los 167 días después de la siembra

Factor	Peso fresco parte aérea	Peso fresco raíz	Peso seco parte aérea	Peso seco raíz	Peso seco total
	-----(g)-----				
$\text{SiO}_3^{2-}$ ( $\text{mol m}^{-3}$ )					
0.75	53.518 b	13.318 a	11.906 b	2.1590 a	14.065 b
0.5	91.393 a	17.633 a	19.662 a	3.2180 a	22.880 a
1	69.464 ab	12.055 a	15.054 ab	2.5470 a	17.601 ab
0	45.630 b	10.693 a	9.165 b	2.7080 a	11.873 b
$T_\alpha$	27.005	7.2761	6.237	1.3691	7.2721
Solución					
Espinosa	67.460 a	15.02 a	13.879 a	2.6845 a	16.564 a
Steiner	62.543 a	11.83 a	14.015 a	2.6315 a	16.646 a
$T_\alpha$	14.356	3.8681	3.3157	0.6747	3.866

Solución x SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (molm <sup>-3</sup> )					
Espinosa x 0.75	55.30 b	12.484 a	11.430 b	1.8400 a	13.270 ab
Espinosa x 0.5	105.46 a	16.302 a	22.084 a	3.4300 a	25.514 a
Espinosa x 1	57.05 b	8.710 a	12.084 ab	2.4880 a	14.572 ab
Espinosa x 0	52.02 b	9.822 a	9.918 b	2.9800 a	12.898 b
Steiner x 0.75	51.73 b	14.152 a	12.328 ab	2.4780 a	14.860 ab
Steiner x 0.5	77.32 ab	18.964 a	17.240 ab	3.0060 a	20.246 ab
Steiner x 1	81.88 ab	15.400 a	18.024 ab	2.6060 a	20.630 ab
Steiner x 0	39.24 b	11.564 a	8.412 b	2.4360 a	10.848 b
T <sub>α</sub>	45.66	12.303	10.546	2.1458	12.295

VINCLANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

# Concentración de silicio en parte aérea

Las concentraciones de  $0.5$  y  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  en la solución Espinosa provocaron mayor acumulación en parte aérea (919 y 852 ppm), diferentes estadísticamente de  $0.75$  y  $0 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ; en la solución Steiner la concentración de  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  causó mayor acumulación en parte aérea (733 ppm), diferente estadísticamente de  $0.5$  (606.5 ppm),  $0$  y  $0.75 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$ .



**Cuadro 5. Comparación de medias de los niveles de Si en cada nivel del factor SN**

<b>mol m<sup>-3</sup></b>	<b>Sol. Espinosa</b>	<b>mol m<sup>-3</sup></b>	<b>Sol. Steiner</b>
<b>1</b>	<b>919.32 a</b>	<b>1</b>	<b>733.9 a</b>
<b>0.5</b>	<b>852.38 a</b>	<b>0.5</b>	<b>606.5 b</b>
<b>0.75</b>	<b>471.6 b</b>	<b>0</b>	<b>162.58 c</b>
<b>0</b>	<b>326.32 c</b>	<b>0.75</b>	<b>159.6 c</b>

Medias con la misma letra no presentan diferencias, de acuerdo a la prueba de Tukey, con  $\alpha = 0.05$ .

# Concentración de Potasio en parte aérea

**No se encontró interacción de los factores, de acuerdo al análisis de varianza, con  $\alpha= 0.05$ , la concentración en parte aérea varió de 1.1966% a 2.23 %, esto concuerda con Jones, (1991) que afirma que el K forma parte del 1 a 5% del peso seco del tejido foliar recién maduro con valores de suficiencia de 1.5 a 3% y con Zelaya (2002) que para chile manzano durante la floración determinó 1.6% a 2.4%; y 1.9 % para etapa vegetativa, 2.1 a 2.8% durante la maduración de los frutos usando la SN Steiner.**

**Esto puede explicar porqué la adición de Si en las SN no causó efecto significativo sobre la absorción de K.**

# Potasio en la raíz

Cuadro 6. Comparación de medias para los niveles del factor Si en cada nivel del factor SN para la variable K en raíz

<b>mol m<sup>-3</sup></b>	<b>Sol Espinosa</b>	<b>mol m<sup>-3</sup></b>	<b>Sol Steiner</b>
<b>0.5</b>	10124 a	1	15047.2 a
<b>1</b>	9715 a	0.75	12657.7 a
<b>0.75</b>	6348 b	0.5	7266.1 b
<b>0</b>	4962 b	0	2842.6 c

Medias con la misma letra no presentan diferencias, de acuerdo a la prueba de Tukey, con  $\alpha= 0.05$ .

# Concentración de Calcio en parte aérea

El análisis de varianza indica que no hay interacción de factores; De acuerdo a lo obtenido por Gasga (2006), el contenido de calcio en la etapa de fructificación varía de 2.57 a 2.69%, valores superiores a los encontrados en este trabajo ya que se determinó de 0.2162 a 0.3906% en parte aérea.



# Concentración de Calcio en raíz

**Cuadro 7. Comparación de medias para los niveles del factor Si en cada nivel del factor SN para la variable calcio en raíz**

molm <sup>-3</sup>	Sol Espinosa	molm <sup>-3</sup>	Sol Steiner
1	49852 a	1	39484 a
0.5	25607 b	0.75	6278 b
0	326 c	0	181 b
0.75	140 c	0.5	117 b

Medias con la misma letra no presentan diferencias, de acuerdo a la prueba de Tukey, con  $\alpha = 0.05$ .

# CONCLUSIONES

- La adición de  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{SiO}_3^{2-}$  causó un efecto benéfico sobre peso fresco, peso seco de parte aérea y peso seco total. El peso fresco y seco de raíz no fue afectado por la adición de Si ni por el tipo de SN empleada, los valores menores se obtuvieron en las SN sin adición de silicio.



- **La SN Espinosa causó mayor acumulación de Si en parte aérea, estadísticamente diferente que la solución Steiner que causó menor acumulación, pero no influyó sobre acumulación de K.**
- **La concentración de Si en parte aérea se incrementó al adicionar  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{SiO}_3^{2-}$ .**
- **El mejor tratamiento para obtener la más alta concentración de Si en parte aérea fue  $1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  en Solución Espinosa (919.3 ppm), mientras que para la raíz la combinación adecuada es  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  en Solución Steiner (1432 ppm).**
- **La adición de  $0.75 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{SiO}_3^{2-}$  causó mayor acumulación (3906 ppm) de calcio en parte aérea.**



# Gracias

**M.C. JORGE ALFREDO ORTIZ QUINTERO**  
**PROFESOR-INVESTIGADOR**  
**CONSULTOR**  
**NUTRICIÓN VEGETAL Y FERTIRRIEGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CIUDAD SERDÁN**

**ortiz@correo.chapingo.mx**



[www.comeii.com/comeii2017](http://www.comeii.com/comeii2017)

  @CongresoCOMEII

 [info@comeii.com](mailto:info@comeii.com)