

# ZEOLITA COMO SUSTRATO EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE GERBERA

## Zeolite as Substrate in the Soilless Culture of Gerbera

Elizabeth Urbina-Sánchez<sup>1‡</sup>, Gustavo Adolfo Baca-Castillo<sup>1</sup>, Roberto Núñez-Escobar<sup>1</sup>,  
María Teresa Colinas-León<sup>2</sup>, Leonardo Tijerina-Chávez<sup>1</sup> y Juan Luis Tirado-Torres<sup>1</sup>

### RESUMEN

La zeolita es un mineral del grupo de los aluminosilicatos con estructura porosa, presenta alta capacidad de intercambio catiónico y es de origen ígneo sedimentario. En México, se tienen referencias de yacimientos en varios estados entre ellos: Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, SLP, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala y Veracruz. Sus características la hacen un sustrato atractivo para cultivos hidropónicos. El objetivo del presente estudio fue estudiar *Gerbera jamesonii* en un sistema hidropónico cerrado utilizando como sustrato zeolita, así como determinar el efecto directo y las interacciones de los factores: potencial osmótico y concentración de  $\text{NH}_4^+$  en la solución nutritiva universal de Steiner y granulometría de la zeolita, sobre su crecimiento. Se usó un diseño experimental factorial completo  $3 \times 3 \times 2$  con tres repeticiones. No se encontraron efectos significativos sobre las variables de crecimiento por los factores: granulometría, potencial osmótico, o concentración de amonio. La única excepción fue que con la aplicación de 7.5% de amonio, se tuvo efecto negativo sobre variable longitud del pedúnculo. En la interacción del potencial osmótico a -54 kPa de la solución nutritiva y granulometría fina contra gruesa, se obtuvo mayor longitud de pedúnculo de la flor con ésta última. Los valores de las variables de crecimiento de la flor de las plantas cultivadas en zeolita fueron similares a los de las plantas cultivadas en tezontle.

**Palabras clave:** hidroponía, potasio, calcio, magnesio, granulometría, *Gerbera jamesonii*, amonio, zeolita-clinoptilolita.

### SUMMARY

The zeolite is a mineral of the group of the aluminosilicates with porous structure; it presents high cation exchange capacity and sedimentary igneous origin. In Mexico, there are references about deposits of this mineral in several states such as Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacan, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosi, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz and Sonora; their characteristics make it an attractive substrate for soilless culture. The objective was to grow *Gerbera jamesonii* in a closed system using zeolite substrate and to determine the direct effect and the interactions of the factors: osmotic potential and  $\text{NH}_4^+$  concentration in the nutrient solution Steiner and two granule sizes of zeolite, on the growth of gerbera. A complete factorial design  $3 \times 3 \times 2$  was integrated with three replications. There were not significant effects for the growth variables by the factors: granule sizes, osmotic potential, or ammonium concentration. The unique exception was that with 7.5% of ammonium there was negative effect on the peduncle length. With the interaction of the osmotic potential at -54 kPa of the nutrient solution in combination with the zeolite of greatest granule size was obtained major length of peduncle. The growth of the plants cultivated in fine zeolite or coarse zeolite was similar to those of the plants cultivated in pumice. The values of the variables of growth of the flower of the plants grown in zeolite were similar to those of the plants grown in pumice.

**Index words:** soilless culture, potassium, calcium, magnesium, *Gerbera jamesonii*, ammonium, clinoptilolite-zeolite.

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (elizaurbina@yahoo.com)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. 56230 Chapingo, estado de México.

### INTRODUCCIÓN

El término zeolita proviene de las palabras griegas zein (hervir) y lithos (piedra) que significa “piedra que hierve”, fue designado por el suizo Cronstedt en 1756. El término se aplica a un grupo de aluminosilicatos con estructura porosa, que presenta alta capacidad de

retención de humedad y de intercambio catiónico, su origen es ígneo por enfriamiento de lava basáltica (Ming y Mumpton, 1989; Carlino, 1998 y Qian *et al.*, 2001). La zeolita clinoptilolita se clasifica así, cuando la relación  $[Na + K] > [Ca]$  y tiene una relación Si:Al de alrededor de 4.5 a 5 (Ming y Mumpton, 1989). Las zeolitas tienen alta capacidad de intercambio catiónico. Entre los cationes adsorbidos se encuentran:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , los cuales, excepto  $Na^+$ , podrían ser aprovechados por las plantas cuando se emplea como sustrato en cultivos hidropónicos (Stamatakis *et al.*, 2001). Sin embargo, el Na intercambiable de la zeolita puede ser reemplazado por otros cationes:  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$  (Harland, 1999; Broschat, 2001 y Urbina *et al.*, 2006). La clinoptilolita tiene una gran estabilidad estructural, que ofrece la posibilidad para reutilizarla sin reducir el rendimiento, lo cual no se ha visto con otros sustratos hidropónicos (Harland, 1999). En México se han encontrado yacimientos de zeolitas en varios estados, siendo los más importantes los de Oaxaca, constituidos por las zeolitas mordenita y clinoptilolita (Ostroumov *et al.*, 2005). Fakhri *et al.* (1995) indicaron que estos materiales podrían ser usados localmente con éxito en cultivos hidropónicos. Stamatakis *et al.* (2001) indicaron que el uso de zeolita como sustrato en hidroponía no ha sido desarrollado a gran escala, esto se debe probablemente a que su uso principal ha sido en distintas actividades industriales como la construcción, en el tratamiento de aguas y en la elaboración de cosméticos (Bosch y Schifter, 1998). En México no se le ha dado la debida importancia a este recurso; mientras que en otros países como Cuba, Estados Unidos y Australia se puede conseguir con cierta facilidad para su uso como sustrato en cultivos hidropónicos (Rivero y Rodríguez, 1988; Steinberg *et al.*, 2000; Stamatakis *et al.*, 2001 y Ostroumov *et al.*, 2005). Esto, quizá porque aún no se tiene conocimiento suficiente sobre su manejo y posibilidades de uso.

El éxito de los cultivos hidropónicos requiere entre otros aspectos el estudio, acondicionamiento y evaluación de las propiedades físicas y químicas de aquellos materiales factibles de ser usados como sustrato, así como de la evaluación del comportamiento de las plantas en el sustrato (Luque, 1981 y Terés *et al.*, 1995). En ese sentido Maloupa *et al.* (1992) indicaron que el tamaño y distribución de las partículas alteran las propiedades físicas del sustrato, las que a su vez modifican las relaciones agua-aire y por lo tanto el crecimiento de la planta. Lo anterior se respalda con

otros estudios como el de Cervelli y Farina (1994) quienes usaron zeolita con tamaño de partícula comprendido entre 3 a 5 mm en la producción de cultivos ornamentales; el de Maloupa *et al.* (1992) que cultivaron gerbera en hidroponía, en partículas de 0.2 a 4 mm y por último el de Issa *et al.* (2001) quienes usaron zeolita de 0.8 a 2 mm en la producción hidropónica de gerbera. En cuanto a la solución nutritiva universal de Steiner se requiere determinar experimentalmente, el potencial osmótico adecuado de dicha solución para cada cultivo y época climática (Steiner, 1984). Las especies vegetales no responden similarmente a una relación particular de suministro de  $NH_4^+$ -N/N total y a un cierto pH en la zona de la raíz, algunas plantas absorben preferentemente  $N-NO_3^-$ , en cambio otras  $NH_4^+$ -N, o una mezcla de ambas fuentes nitrogenadas para obtener mayores rendimientos (Bugarín *et al.*, 1998a y Preciado *et al.*, 2001). Por otra parte, el suministro de una pequeña cantidad de nitrógeno en forma de  $NH_4^+$ , ha llegado a ser una práctica común en hidroponía que permite la regulación del pH en la zona de la raíz de la planta (Lea-Cox *et al.*, 1999; Bar-Tal *et al.*, 2001 y Savvas *et al.*, 2003).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la granulometría de la zeolita clinoptilolita (proveniente de Oaxaca) y potencial osmótico y concentración de  $NH_4^+$  en la solución nutritiva universal de Steiner sobre el crecimiento de *Gerbera jamesonii* en hidroponía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se dividió en tres etapas: la primera consistió en caracterizar la zeolita natural molida y cribada en dos granulometrías contrastantes, en cuanto a sus propiedades físicas. En la segunda etapa a dichas granulometrías se les adicionó  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  y se hicieron las determinaciones químicas correspondientes. En la tercera etapa las zeolitas molidas y “cargadas” de cationes, se utilizaron como sustratos en el cultivo hidropónico de gerbera. La primera etapa tuvo el propósito de caracterizar físicamente la zeolita, inclusive términos estadísticos. La segunda etapa permitió definir el grado de adsorción de los cationes por las zeolitas, también inclusive estadísticamente. Para la tercera etapa, de interpretación de los resultados del crecimiento hidropónico de la gerbera, se consideró que la discusión correspondiente podría ser enriquecida con los resultados de las dos primeras etapas.

Se utilizó como sustrato zeolita clinoptilolita, molida y tamizada (en la mina) en dos granulometrías: fina (1 a 4 mm) y gruesa (4 a 9 mm), proveniente de la mina del municipio Etna, estado de Oaxaca, su color en seco es gris claro y verde olivo en húmedo (Tabla Munsell: 5 y 7/2 y 5 y 5/3, respectivamente). Se realizaron las determinaciones siguientes: densidad aparente, densidad real, porosidad, punto de marchitamiento permanente, agua a saturación y capacidad de campo, las cuales se utilizan principalmente para definir la capacidad de almacenamiento de agua del sustrato. La densidad aparente se determinó por el método de la probeta, la densidad real por el método del picnómetro, la porosidad se calculó a partir de las dos densidades (Coras, 1989). Agua a saturación y agua a capacidad de campo se determinaron por el método de la columna (Ansorena, 1994); el punto de marchitamiento permanente se determinó por el método biológico del girasol (Coras, 1989).

Las zeolitas fina y gruesa se trataron consecutivamente con KCl,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  y  $\text{MgSO}_4$  para fijar los cationes en los sitios de intercambio de acuerdo con Urbina *et al.* (2006). A las zeolitas “cargadas” y en sus dos granulometrías se les determinó su contenido de cationes intercambiables ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ ), el anión intercambiable  $\text{NO}_3^-$  y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). El método para determinar el porcentaje de cationes intercambiables ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ ) y la CIC, consistió en su extracción mediante acetato de amonio a pH 7; su cuantificación se realizó mediante el espectrofotómetro de inducción de plasma acoplada (ICP-AES marca Varian). Los contenidos de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  se determinaron mediante arrastre de vapor. Los resultados de las propiedades físicas, cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y  $\text{NO}_3^-$  se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar con cinco repeticiones.

El experimento se realizó en un invernadero con cubierta de polietileno, localizado en Montecillo, Edo. México a partir del 24 de junio de 2005. Se establecieron plántulas de *Gerbera jamesonii* cv. Passion (doble rojo), en un sistema hidropónico cerrado con rehúso de la solución nutritiva, el cual estuvo constituido por dos contenedores de plástico, uno para el sustrato (contenedor A) y otro para la solución nutritiva (contenedor B). En el contenedor A se insertó verticalmente una manguera de PVC de 2.5 cm de diámetro, con perforaciones a todo lo largo de la misma;

al contenedor B se le insertó en su base una manguera de  $\pm 1.5$  cm de diámetro. Para proporcionar el riego con la solución, la manguera del contenedor B se insertaba en la manguera de PVC y se elevaba el contenedor B sobre el nivel del contenedor A; para drenar la solución el contenedor B se colocaba por debajo del contenedor A.

Después del trasplante se colocó una malla para sombra al 70% durante dos semanas principalmente para disminuir la radiación. Durante el invierno se colocó una doble cubierta de polietileno dentro del invernadero para disminuir la pérdida de calor. En el invernadero se tuvo una temperatura mínima promedio de 15 °C y una máxima promedio de 26 °C con una humedad relativa de 70%.

Las plantas cultivadas en el tezontle en un principio se regaron con la solución nutritiva al potencial osmótico (PO) de -54 kPa, pero no hubo la respuesta esperada, por lo que cambió a -72 kPa.

Se evaluaron 3 potenciales osmóticos de la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984): -36, -54 y -72 kPa, 3 concentraciones de amonio: 0, 7.5 y 15% del total de cationes en  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$  (Cuadro 1) y dos granulometrías de zeolita (fina 1 a 4 mm y gruesa 4 a 9 mm); de tal manera que se integró un diseño factorial completo  $3 \times 3 \times 2$  con tres repeticiones; se utilizó como testigo tezontle con granulometría de 4 a 9 mm, la distribución de los tratamientos fue completamente al azar.

Se evaluaron las variables de crecimiento: diámetro de capítulo, longitud del pedúnculo, diámetro de pedúnculo, peso fresco de la flor, peso fresco del capítulo, peso fresco del pedúnculo (PFP), peso seco de la flor, peso seco del capítulo y peso seco del pedúnculo. La interpretación estadística de las características físicas y químicas de los sustratos, y de las variables del crecimiento de la flor se hizo mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 1985). La comparación de medias de los efectos principales se realizó con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). La comparación de medias de las interacciones significativas, se hizo con la prueba de Scheffé ( $P \leq 0.05$ ) recomendada por Martínez (1996). También se comparó el efecto del testigo con la media correspondiente del diseño factorial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los efectos principales: granulometría del sustrato, potencial osmótico

**Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas, con base en la solución nutritiva universal de Steiner.**

PO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> †	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ‡
kPa	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>							%
-36	5.99	0.50	3.51	3.50	4.50	1.99	0.00	0
-36	5.89	0.50	3.46	3.19	4.09	1.82	0.74	7.5
-36	5.79	0.48	3.40	2.88	3.71	1.65	1.45	15
-54	8.97	0.75	5.28	5.25	6.75	2.99	0.00	0
-54	8.82	0.74	5.19	4.78	6.14	2.73	1.10	7.5
-54	8.69	0.72	5.11	4.32	5.56	2.47	2.17	15
-72	11.94	0.99	7.05	6.99	8.99	3.99	0.00	0
-72	11.75	0.98	6.93	6.37	8.19	3.64	1.47	7.5
-72	11.57	0.96	6.83	5.76	7.41	3.29	2.89	15

† Concentración definitiva de amonio después de realizar los ajustes correspondientes por potencial osmótico (PO); ‡ Concentración de amonio propuesta, en porcentaje con respecto al total de cationes en mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. La concentración de los micronutrientes de las soluciones nutritivas fue 4, 0.865, 1.6, 0.023 y 0.011 mg L<sup>-1</sup> de Fe, B, Mn, Zn y Cu, respectivamente. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó diariamente antes del riego a 5.5±0.3 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1N) o NaOH (1N).

y concentración de amonio de la solución nutritiva y sus correspondientes interacciones. En cuanto a granulometría no hubo efectos significativos en las variables de crecimiento de la flor, esto se puede deber a que no existieron diferencias significativas entre las propiedades físicas de la zeolita fina y la zeolita gruesa, la excepción, fueron los valores de la variable agua a saturación (Cuadro 3). El agua a saturación es un estado temporal de humedad de dichos sustratos, por lo que no afectó a dichas variables. Esta determinación tiene su utilidad práctica en la determinación de cuanta agua (solución nutritiva) se requiere para humedecer totalmente el sustrato (Penningsfeld y Kurzmann, 1975). Maloupa *et al.* (1993) estudiaron la respuesta del cultivo hidropónico de gerbera en 5 sustratos: lana de roca, perlita, zeolita, una arcilla regional y una arena de río; encontraron que los materiales resultaron con propiedades muy diferentes entre sí, al punto de producir diversos efectos en el crecimiento y desarrollo del cultivo y por lo tanto, dichos investigadores recomiendan que se dé un manejo específico a cada uno de los sustratos; entre las propiedades físicas más importantes de la zeolita destacaron a la porosidad y al agua fácilmente aprovechable.

No existieron efectos significativos en las variables de crecimiento de la flor debidos al potencial osmótico (PO) de la solución nutritiva (Cuadro 2). Al respecto, Urbina *et al.* (2006) estudiaron el efecto de tres granulometrías en la conductividad eléctrica (CE) del agua a saturación en muestras de zeolita clinoptilolita y de tezontle, las cuales después de ser molidas y cribadas,

fueron lavadas con agua destilada hasta eliminar las sales solubles que pudieran contener. Las tres granulometrías fueron: 0.71 a 1.0, 1.01 a 2.0 y 2.01 a 3.36 mm. Las CE de las zeolitas fueron 0.20 (c), 0.23 (b) y 0.30 (a), respectivamente, con una media de 0.24 (a) dS m<sup>-1</sup>, las primeras tres letras entre paréntesis señalan las diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) de CE de las granulometrías dentro del sustrato y la última, la media del sustrato (zeolita). En la misma forma, las CE de las granulometrías dentro del tezontle fueron: 0.08 (a), 0.05 (b) y 0.05 (b) respectivamente, con una media de 0.06 (b) dS m<sup>-1</sup>. Se observa que la media de CE de las granulometrías de las zeolitas, es cuatro veces la de la media de las granulometrías de tezontle, y esto, no se debió a la presencia de sales solubles en el agua a saturación de los sustratos.

Las diferencias estadísticas entre las CE de granulometrías de los tezontles, se debieron a los volúmenes de agua necesarios para saturar los tezontles. Entre los correspondientes volúmenes de agua de las zeolitas no hubo diferencias estadísticas significativas. Bohn *et al.* (1985), indican que en el proceso de determinación de la capacidad de intercambio catiónico, se lavan las muestras hasta dejarlas sin sales solubles y que con frecuencia se emplean soluciones de alcohol para mantener las muestras floculadas, esto no se hizo en el caso presente (Urbina *et al.*, 2006), lo cual explica la menor CE de la zeolita más fina, la más fracturada y por lo tanto, más expuesta a ser defloculada. Por otra parte, extrapolando los resultados de Urbina *et al.* (2006) al presente estudio, se infiere que la diferente CIC de

**Cuadro 2. Efecto de los factores: granulometría del sustrato, potencial osmótico y concentración de  $\text{NH}_4^+$  de la solución nutritiva y sus interacciones, sobre variables de crecimiento de la flor de gerbera var. Passion cultivada en zeoponia<sup>†</sup>.**

Factor	Diámetro del capítulo	Longitud del pedúnculo	Diámetro del pedúnculo	Peso fresco de la flor	Peso fresco del capítulo	Peso fresco del pedúnculo	Peso seco de la flor	Peso seco del capítulo	Peso seco del pedúnculo
	----- cm -----	----- mm -----	----- mm -----	----- g -----	----- g -----	----- g -----	----- g -----	----- g -----	----- g -----
Granulometría de zeolita <sup>‡</sup> (mm)									
1-4	10.11a <sup>§</sup>	46.73a	5.89a	23.25a	11.18a	12.03a	4.08a	2.16a	1.93a
4-9	10.28a	48.06a	6.38a	25.78a	11.89a	13.55a	4.44a	2.29a	2.16a
Potencial osmótico <sup>¶</sup> (PO, kPa)									
-36	10.30a	46.22a	6.18a	26.43a	11.88a	13.072a	4.46a	2.36a	2.09a
-54	10.13a	47.43a	6.22a	24.70a	11.88a	12.76a	4.30a	2.26a	2.11a
-72	10.16a	48.53a	6.00a	23.40a	10.84a	12.54a	4.00a	2.06a	1.93a
Amonio en solución ( $\text{NH}_4^+$ en porcentaje del N-total en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )									
0	10.07a	49.0a	5.87a	23.54a	11.18a	12.38a	4.10a	2.11a	1.99a
7.5	10.07a	44.76b	6.11a	23.82a	11.16a	12.16a	4.12a	2.21a	1.92a
15	10.46a	48.42ab	5.87a	26.18a	12.26a	13.83a	4.55a	2.35a	2.22a
Interacciones									
G PO	ns <sup>#</sup>	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G $\text{NH}_4^+$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PO $\text{NH}_4^+$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
G PO $\text{NH}_4^+$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV <sup>††</sup>	8.94	9.58	14.82	27.87	22.29	30.52	22.64	21.95	25.28

<sup>†</sup> Sistema hidropónico cerrado sobre zeolita; <sup>‡</sup> Granulometría (G) de zeolita fina: 1-4 mm y gruesa: 4-9 mm; <sup>§</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente según Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>¶</sup> Potencial osmótico de la solución nutritiva en kPa; <sup>#</sup> ns, \* y \*\*: no significativo ( $P \leq 0.05$ ), significativo y altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ), según Scheffé <sup>††</sup> Coeficiente de variación.

las dos zeolitas, hizo que los volúmenes de agua utilizada para saturarlas, se comportaran como si tuvieran diferentes cantidades de sales en solución, anulando el efecto del diferente PO de las soluciones nutritivas. Lo cual explica el hecho de que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas debidas a los PO de las soluciones nutritivas en las variables estudiadas (Cuadro 2).

De las variables estudiadas solamente fue afectada la longitud del pedúnculo (LP), con 7.5 % de amonio en la solución nutritiva, esta disminuyó (Cuadro 2). Sin amonio la LP fue mayor, esto coincide con lo señalado por Lea-Cox *et al.* (1999); Bar-Tal *et al.* (2001) y Savvas *et al.* (2003), quienes indican que las plantas, en general, responden positivamente a bajas concentraciones de amonio, cuando responden.

**Cuadro 3. Análisis de varianza de las propiedades físicas de la zeolita natural fina y gruesa y el tezontle.**

Sustrato	Densidad aparente	Densidad real	Contenido de agua a saturación	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Porosidad
	----- $\text{g cm}^{-3}$ -----	----- -----	----- -----	----- % -----	----- -----	----- -----
Zeolita fina <sup>†</sup>	0.76ab <sup>‡</sup>	2.07ab	80.55a	28.09a	18.49a	63.31ab
Zeolita gruesa <sup>†</sup>	0.74b	1.89b	71.60b	25.75a	16.98a	61.02b
Tezontle	0.77a	2.42a	75.85b	11.34b	4.42b	67.98a
Coeficiente de variación	1.32	7.45	2.32	7.86	11.7	4.28

<sup>†</sup> Diámetro de las partículas finas: 1-4 mm y de partículas gruesas: 4-9 mm. <sup>‡</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente, según Tukey ( $P \leq 0.05$ );

La LP fue significativa por el efecto de la interacción  $G \times PO$  (Cuadro 2), de los contrastes estudiados, solamente se manifestó en el siguiente: dentro del PO -54 kPa, entre la LP de la zeolita fina y la de la zeolita gruesa, ésta última fue mayor (Figura 1). Dentro de los PO -0.36 y -0.72 kPa, los contrastes correspondientes entre las dos zeolitas no fueron significativos y si lo fueron los PO de -54 kPa. Una respuesta similar fue encontrada por Steiner (1973), Bugarín *et al.* (1998a), Bugarín *et al.* (1998b) y Parra *et al.* (2004) y Parra *et al.* (2009), quienes explicaron sus resultados, dichas explicaciones constituyen la base de la discusión siguiente. Con el PO más grande (-0.36 kPa) (la solución nutritiva más diluida) se favorece la absorción de algunos nutrientes mediante el mecanismo de flujo de masas, tales como el calcio y el magnesio y se limita la absorción de nutrientes mediante difusión tales como el fósforo, lo contrario ocurre con el PO más pequeño (-0.72 kPa). Estos efectos, señalan dichos investigadores, producen frecuentemente desbalances nutrimentales hasta el grado de constituir deficiencias o toxicidades nutrimentales. A causa de lo anterior, en ambos casos, con el PO menor y el mayor, no hubo diferencia significativa entre ambas zeolitas. Con el PO: -54 kPa los efectos antes indicados de absorción de nutrientes mediante flujo de masas y difusión, debidos al PO de la solución, no se dieron, sin embargo, el mayor contenido de alguno, o algunos de los cationes siguientes: calcio, magnesio, potasio o amonio en la zeolita fina con respecto a la gruesa (Cuadro 4), pudo ser la causa de la diferencia significativa entre sus correspondientes LP (Figura 1).

Cabe señalar que la planta pudo absorber parte de estos nutrientes (cationes) por intercepción de la raíz con la zeolita, lo cual coincide con lo señalado por Stamatakis *et al.* (2001) y Urbina *et al.* (2006).

### Crecimiento de Gerbera en Tezontle

Los valores correspondientes a las variables de crecimiento de la flor obtenidos en tezontle no fueron estadísticamente diferentes al compararlos con los obtenidos en zeolita (Cuadro 5).

En el cultivo hidropónico de diversas especies se utiliza el tezontle como sustrato, debido al buen zeolita podría usarse como un sustrato alternativo equiparable al tezontle para el cultivo de gerbera. La zeolita se localiza en diversas minas en varios estados de México; entre ellos Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala y Veracruz.

Tomando en cuenta que hubo necesidad de usar una solución más concentrada para las plantas cultivadas en tezontle, sería recomendable determinar en investigaciones futuras, cual es el potencial osmótico de la solución nutritiva que requieren esas plantas, para compararlas en forma apropiada con la respuesta de las plantas cultivadas en zeolita.

### CONCLUSIONES

- Al evaluar a la zeolita clinoptilolita para su posible uso en un sistema hidropónico de circuito cerrado para el cultivo de gerbera, se encontró que las características

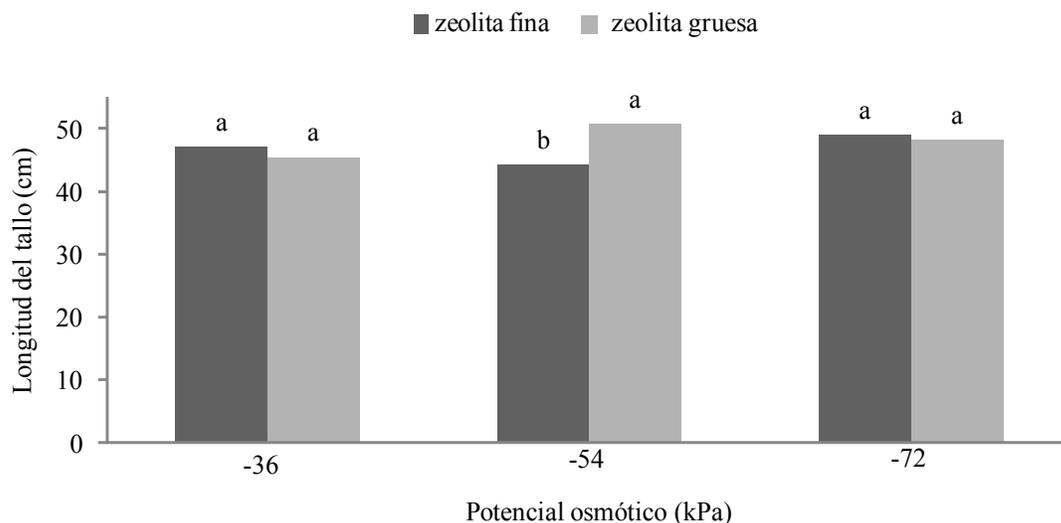


Figura 1. Interacción granulométrica de la zeolita por potencial osmótico de la variable longitud de pedúnculo.

**Cuadro 4. Cationes y aniones intercambiables en las zeolitas fina y gruesa tratadas consecutivamente con soluciones de KCl, Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> y MgSO<sub>4</sub>.**

Zeolita	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Suma de cationes	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	----- mmol <sub>c</sub> 100 g <sup>-1</sup> -----						
Fina <sup>†</sup>	47.76a <sup>‡</sup>	10.60a	3.36a	19.00a	1.96a	82.67a	0.01a
Gruesa <sup>†</sup>	32.16b	7.20b	2.18b	20.10a	1.04b	62.68b	0.01a
CV	12.08	8.64	11.56	12.88	7.18	10.29	5.33

<sup>†</sup> Diámetro de las partículas finas: 1 - 4 mm y de las partículas gruesas: 4 - 9 mm. <sup>‡</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente, según Tukey ( $P \leq 0.05$ ). CV = coeficiente de variación.

**Cuadro 5. Comparación de la media diseño factorial con la del tezontle de las variables de crecimiento.**

Media	Diámetro del capítulo	Longitud del pedúnculo	Diámetro del pedúnculo	Peso fresco de la flor	Peso fresco del capítulo	Peso fresco del pedúnculo	Peso seco de la flor	Peso seco del capítulo	Peso seco del pedúnculo
	----- cm -----		mm	----- g -----					
Factorial	10.2a <sup>†</sup>	47.4a	6.1a	24.51a	6.62a	12.79a	4.26a	2.23a	2.04a
Tezontle <sup>‡</sup>	8.8a	47.5a	5.7a	19.60a	8.00a	11.53a	3.23a	1.46a	1.76a

<sup>†</sup> Medias con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales estadísticamente según prueba de Scheffé ( $P \leq 0.05$ ). <sup>‡</sup> Tezontle con partículas comprendidas entre 1-4 mm.

de crecimiento de la flor fueron similares en ambos sustratos: zeolita y tezontle.

- Ni la granulometría de la zeolita, ni el potencial osmótico, ni la concentración de amonio de la solución nutritiva, evaluados como efectos simples o sus interacciones, afectaron a las variables de crecimiento de la flor, la única excepción fue el efecto de la concentración de amonio en longitud de pedúnculo, la adición mínima de amonio tuvo efecto negativo sobre esta variable.

- La zeolita fina retuvo mayor cantidad de cationes (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Lic. Eduardo Gutiérrez por habernos proporcionado la zeolita para la realización de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Ansorena M., J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Bar-tal, A., B. Aloni, L. Karni, and R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and NO<sub>3</sub> : NH<sub>4</sub> ratio on growth transpiration, and nutrient uptake. HortScience 36: 1252-1259.
- Bohn, H. L., B. L. McNeal y G. A. O. Connor. 1993. Química del suelo. Limusa Noriega. México, D. F.
- Bosch, P. e I. Schiffer. 1998. La zeolita una piedra que hierve. La ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Broschat, T. K. 2001. Substrate nutrient retention and growth of container-grown plants in clinoptilolitic zeolite-enmended substrates. HortTechnology 11: 75-78.
- Bugarín-Montoya, R., G. A. Baca-Castillo, J. J. Martínez-Hernández, J. L. Tirado-Torres y A. Martínez-Garza. 1998a. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I Crecimiento y floración. Terra 16: 113-124.
- Bugarín-Montoya, R., G. A. Baca-Castillo, J. J. Martínez-Hernández, J. L. Tirado-Torres y A. Martínez-Garza. 1998b. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. II Extracción nutrimental de hojas. Terra 16: 125-134.
- Carlino, J. L., K. A. Williams, and E. R. Allen 1998. Evaluation of zeolite-based soilless root media for potted *Chrysanthemum* production. HortTechnology 8: 373-378.
- Cervelli, C. and E. Farina. 1994. Effect of different substrates on growth of ornamentals in hydroculture. Acta Hort. 361: 456-463.
- Coras M., P. M. 1989. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Fakhri M., N., E. Maloupa, and D. Gerasopoulos. 1995. Effects of substrate and frequency of irrigation on yield and quality of three *Gerbera jamesonii* cultivars. Acta Hort. 408: 41-45.
- Harland, J., S. Lane, and D. Price. 1999. Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. Acta Hort. 481: 187-196.

- Issa, M., G. Ouzounidou, H. Maloupa, and A. Constantinidou. 2001. Seasonal and diurnal photosynthetic responses of two gerbera cultivars to different substrates and heating systems. *Sci. Hort.* 88: 215-234.
- Lea-Cox, J. D., G. W. Stutte, W. L. Berry, and R. M. Wheeler. 1999. Nutrient dynamics and pH/charge-balance relationships in hydroponic solutions. *Acta Hort.* 481: 241-250.
- Luque, A. 1981. Physical and physicochemical properties of the volcanic materials used in hydroponics. *Acta Hort.* 126: 51-57.
- Maloupa, E., I. Mitsios, P. F. Martínez, and S. Bladenopoulou. 1992. Study of substrates use in gerbera soilless culture grown in plastic greenhouse. *Acta Hort.* 323: 139-144.
- Martínez G., A. 1996. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D. F.
- Ming D., W. and F. A. Mumpton. 1989. Zeolites in soils. pp. 873-911. *In: J. B. Dixon and S. B. Weed (eds.). Minerals in soil environments. SSSA Book Series 1. Madison, WI, USA.*
- Ostroumov, M. F., H. Ortiz y C. P. Corona. 2005. Zeolitas de México: Diversidad mineralógica y aplicaciones. <http://smm.iim.umich.mx/zeolitas.htm>. (Consulta: septiembre 25, 2005).
- Parra-Terraza, S., G. A. Baca-Castillo, R. Carrillo González, J. Kohashi-Shibata, A. Martínez-Garza y C. Trejo-López. 2004. Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana*. 22: 467-473.
- Parra-Terraza, S., G. A. Baca-Castillo, J. L. Tirado-Torres, M. Villarreal R., P. Sánchez P. y S. Hernández V. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana* 27: 123-131.
- Penningsfeld, F. y P. Kurzmann. 1975. Cultivos hidropónicos y en turba. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Preciado-Rangel, P., G. A. Baca-Castillo, J. L. Tirado-Torres, J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina-Chávez y A. Martínez-Garza. 2001. Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y programa de riego y sus efectos en melón y suelo. *Terra Latinoamericana* 22: 175-186.
- Preciado-Rangel, P., G. A. Baca-Castillo, J. L. Tirado-Torres, J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina-Chávez y A. Martínez-Garza. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y producción de plántulas de melón. *Terra* 21: 461-470.
- Qian, Y. L., A. J. Koski, and R. Welton. 2001. Amending sand with isolite and zeolite under saline conditions: leachate composition and salt deposition. *HortScience* 36:717-720.
- Rivero, G. y G. Rodríguez-Fuentes. 1988. Cuban experience with the use of natural zeolite substrates in soilless culture. pp. 405-416. *In: International Society for Soilless Culture: Proceedings of the Seventh International Congress on Soilless Culture. Flevohof, The Netherlands.*
- SAS Institute. 1985. Guide for personal computers. Versión 6.2. Cary, NC, USA.
- Savvas, D., V. Karagianni, A. Kotsira, V. Demopoulo, I. Karkamisi and P. Pakou. 2003. Interactions between ammonium and pH of the solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in pumice. *Plant Soil* 254: 393-402.
- Stamatakis, M.G., N. Koukouzas, C. Vassilatos, E. Kamenou, and K. Samantouros. 2001. The zeolites from Evros region, Northern Greece: A potential use as cultivation substrate in hydroponics. *Acta Hort.* 548: 93-103.
- Steinberg, S. L., D. W. Ming, K. E. Henderson, C. Carrier, J. E. Gruener, D. J. Barta, and D. L. Henninger. 2000. Wheat response to differences in water and nutritional status between zeoponic and hydroponic growth systems. *Agron. J.* 92: 353-360.
- Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. ISOSC. Proceedings of 5<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture. Sassari, Italy.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. *In: Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.*
- Terés, V., A. Arrieta, and M. Rozas. 1995. A method for evaluation of air volumes in substrates. *Acta Hort.* 401: 41-48.
- Urbina-Sánchez, E., G. A. Baca-Castillo, R. Núñez-Escobar, M. T. Colinas-León, L. Tijerina-Chávez y J. L. Tirado-Torres. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> o Mg<sup>2+</sup> y diferente granulometría. *Agrociencia* 40: 419-429.