

LA INCORPORACIÓN DE ZEOLITA AL SUSTRATO AUMENTA LA BIOMASA RADICULAR DE PLANTAS DE LECHUGA

INCORPORATING ZEOLITE INTO THE SUBSTRATE INCREASES ROOT BIOMASS IN LETTUCE PLANTS

Vazquez-Baxcajay, A.¹; Ramírez-Olvera, S.M.^{2*}; Ordaz-Chaparro, V.M.²; Apaez-Barrios W.A.²

¹Division de Ingeniería Química, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán. Calle Primavera s/n, col. Santa María Nativitas, C. P. 56330, Chimalhuacán, Estado de México.

²Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

* E-mail: ramirez.sara@colpos.mx

Fecha de envío: 19, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

Resumen:

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica y nutricional a nivel mundial. Su cultivo en sustrato se ha convertido en una práctica común en la agricultura intensiva, debido a las ventajas que ofrece en cuanto al control de factores ambientales. Por otro lado, la zeolita es un mineral que posee propiedades como alta capacidad de intercambio catiónico, estructura porosa y retención de agua, lo cual favorece el crecimiento vegetal, dando como resultado mejor desarrollo de la planta y rendimiento del cultivo, lo cual se representa como una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia de los cultivos. No obstante, la evidencia sobre la incorporación directa de zeolita en sustratos hortícolas y su impacto en el desarrollo de hortalizas de hoja sigue siendo limitada. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de zeolita en el crecimiento de las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Maximus cultivadas en sustrato. Se establecieron tratamientos con diferentes porcentajes de zeolita incorporada al sustrato, se analizaron variables morfológicas, biomasa fresca y seca e índice de verdor. Los resultados mostraron que la inclusión de zeolita tuvo un efecto negativo en el crecimiento de la planta, disminuyendo las variables morfológicas en su mayoría con el tratamiento al 9% de zeolita. Sin embargo, en el peso de la biomasa seca de raíz aumentó con el tratamiento con 3% de zeolita. Por otro lado, en el índice de verdor no se observó algún cambio. Se concluye que, el suministro de zeolita al sustrato altera el crecimiento de plantas de lechuga cv. Maximus.

Palabras clave: aluminosilicato, dosis-respuesta, hidroponía, hortaliza, tezontle.

Abstract:

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most economically and nutritionally important leafy vegetables worldwide. Its cultivation in soilless substrates has become a common practice in intensive agriculture due to the advantages it offers in terms of environmental control. Zeolite, on the other hand, is a mineral characterized by properties such as high cation exchange capacity, porous structure, and water retention, which collectively enhance plant growth, leading to improved plant development and crop yield. These features position zeolite as a promising alternative for improving crop production efficiency. However, evidence regarding the direct incorporation of zeolite into horticultural substrates and its impact on the growth of leafy vegetables remains limited. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of zeolite on the growth of lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) cv. Maximus cultivated in substrate. Treatments were established with different percentages of zeolite incorporated into the substrate. Morphological variables, fresh and dry biomass, and chlorophyll index were analyzed. The results showed that zeolite inclusion had a negative effect on plant growth, with most morphological variables decreasing under the 9% zeolite treatment. However, root dry biomass increased under the 3% zeolite treatment. No changes were observed in the chlorophyll index. It is concluded that the incorporation of zeolite into the substrate alters the growth of lettuce plants cv. Maximus.

Keywords: aluminosilicate, dose-response, hydroponics, vegetable, tezontle.

INTRODUCCIÓN

La zeolita es un mineral compuesto por aluminosilicatos, descubierto por Axel Fredrik Cronstedt en 1756 (Cronstedt, 1756). Desde entonces, se han identificado más de 80 especies naturales, lo que la convierte en uno de los grupos minerales más abundantes del planeta (Ivanova et al., 2013). En México, se han localizado yacimientos a lo largo del territorio nacional, con presencia de hasta cuatro tipos principales: erionita, mordenita, heulandita y clinoptilolita, siendo esta última la más prevalente.

Debido a su elevada capacidad de intercambio catiónico y retención de agua, la zeolita se emplea con frecuencia en la agricultura como fertilizante de liberación lenta. Su uso ha sido documentado en cultivos de tomate, pepino, calabaza, papaya, pimiento y flores (Gül et al., 2005; Kolar et al., 2010; Méndez-Argüello et al., 2018; Apáez-Barrios et al., 2019; Jankauskienė et al., 2019). Sin embargo, sus efectos varían según la forma de aplicación, la dosis y el origen del mineral, entre otros factores. Aunado a que la mayoría de estudios se han realizado en suelo, por ello, las respuestas pueden diferir de forma sustancial cuando la zeolita se incorpora a

un sustrato inerte en contacto directo con el sistema radicular. La interacción continua entre el mineral y las raíces, puede modificar notablemente la disponibilidad de nutrimentos y, por ende, el desarrollo vegetal. En cultivos de ciclo corto como la lechuga, tales cambios se presumen aún más evidentes, de modo que los efectos sobre el crecimiento podrían contrastar con los reportados en condiciones de suelo.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de alta demanda por su valor nutricional y bajo contenido calórico. Es una fuente importante de vitaminas y minerales, y se consume principalmente cruda, aunque también se aprovecha en otras presentaciones culinarias (Saavedra et al., 2017). En México, su cultivo ha cobrado relevancia, siendo Guanajuato, Zacatecas y Puebla los principales estados productores. Las variedades más comunes son la romana y la orejona. En 2021, la producción nacional alcanzó las 509,084 toneladas, lo que posicionó a México como el noveno productor mundial de lechuga (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, s.f.).

Ante la creciente demanda de hortalizas de hoja, la producción bajo invernadero se ha consolidado como una alternativa capaz de proporcionar control ambiental preciso, reducir la incidencia de plagas y enfermedades y elevar el rendimiento. En este contexto, se vuelve prioritario explorar estrategias que optimicen el manejo del cultivo. Una de ellas es la incorporación de zeolita al sustrato hidropónico, debido a su capacidad para mejorar la disponibilidad de agua y nutrimentos en la rizosfera. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de zeolita sobre el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Maximus cultivada en sustrato bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas peletizadas de lechuga (*L. sativa* cv. Maximus, ITSCO), zeolita natural proporcionada por la empresa Minerales Lozano, y tezontle rojizo con partículas de 5 mm, empleado como sustrato se utilizaron en esta investigación.

Los tratamientos se elaboraron mediante mezclas de tezontle y zeolita en proporciones volumétricas (v/v). La unidad experimental consistió una bolsa de polietileno negro de 35 × 35 cm que contenía una plántula de lechuga.

Se establecieron cuatro tratamientos con concentraciones de 0, 3, 6 y 9 % de zeolita, cada uno con seis repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Las plántulas se obtuvieron mediante la siembra de las semillas en espuma de polifenol con 100 cavidades. El riego se realizó por capilaridad a los 7 días después de la siembra, y posteriormente con solución nutritiva universal Steiner (Steiner, 1984).

A los 30 días de edad, cuando las plántulas de lechuga presentaban al menos tres hojas verdaderas y una altura homogénea, se realizó el trasplante en las macetas previamente preparadas con los diferentes tratamientos. A partir del séptimo día y hasta los 28 días después del trasplante, se recolectaron datos morfológicos utilizando diversas herramientas de medición como cinta métrica, regla y vernier. Asimismo, se evaluó la cobertura vegetal mediante la aplicación Canopy Cover, el índice de verdor (SPAD) con el medidor de clorofila SPAD 502 Plus Minolta, en hojas internas, medias y externas. También se registró la biomasa fresca de la parte aérea y de la raíz mediante una báscula digital. La longitud de la raíz y el diámetro de la roseta se determinaron con una cinta métrica.

Para obtener la biomasa seca, las muestras de parte aérea y raíz se colocaron en una estufa a 70 °C durante 72 h. Posteriormente se pesaron en una balanza analítica Adventurer Ohaus. Finalmente, con los datos obtenidos en las variables evaluadas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), donde se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento con 9 % de zeolita tuvo un efecto negativo sobre la altura de planta, el número de hojas y el diámetro del tallo en distintos momentos de evaluación, como se muestra en la Figura 1a. La altura de planta fue significativamente menor en este tratamiento a los 14, 21 y 28 días después del trasplante (ddt). En la Figura 1b se observa que el número de hojas también se redujo con el 9 % de zeolita, específicamente a los 14 y 28 ddt. En cuanto al diámetro del tallo, la Figura 1c muestra una disminución significativa únicamente a los 28 ddt en el mismo tratamiento.

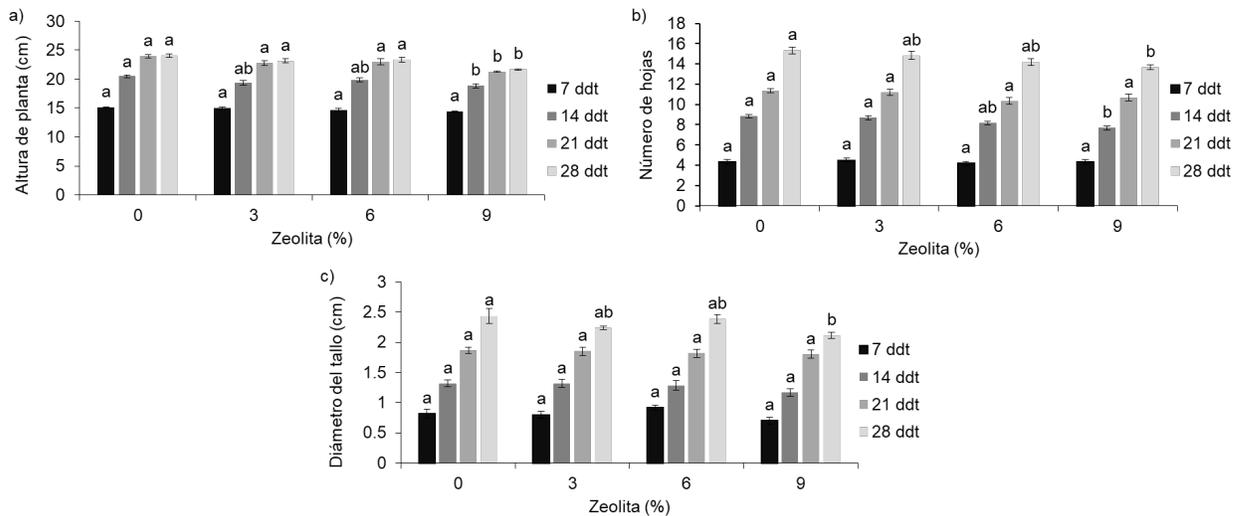


Figura 1. Variables morfológicas de la lechuga, en respuesta a la aplicación 0, 3, 6 y 9% de zeolita a los 7, 14, 21 y 28 días después del trasplante. a) Altura de planta, b) Número de hojas y c) Diámetro de tallo. Medias \pm EE con letras diferentes en cada subfigura indican diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 1. Morphological variables of lettuce in response to applications of 0, 3, 6, and 9 % zeolite at 7, 14, 21, and 28 days after transplanting. a) Plant height, b) Number of leaves, and c) Stem diameter. Means \pm SE with different letters within each sub-figure indicate significant differences among treatments (Tukey, $p \leq 0.05$).

El ancho de hoja disminuyó con los tratamientos al 6% de zeolita a los 21 ddt y al 9% de zeolita a los 14 y 21 ddt (Figura 2a). De igual forma el largo de la hoja disminuyó con los tratamientos al 6% a los 14 ddt y al 9% de zeolita a los 14 y 21 ddt como se muestra en la Figura 2b.

El índice de verdor no se vio afectado con ninguno de los tratamientos de zeolita (3, 6 y 9%) en las hojas externas, medias e internas. El peso seco de la raíz aumentó con el tratamiento al 3% de zeolita (Figura 3a), mientras que el peso fresco de la raíz disminuyó con el tratamiento al 9% de zeolita (Figura 3b). El peso seco de la parte aérea de la planta disminuyó con el tratamiento al 9% de zeolita (Figura 3c) y el peso fresco de la parte aérea fue disminuyendo continuamente con los tratamientos al 3, 6 y 9% de zeolita (Figura 3d).

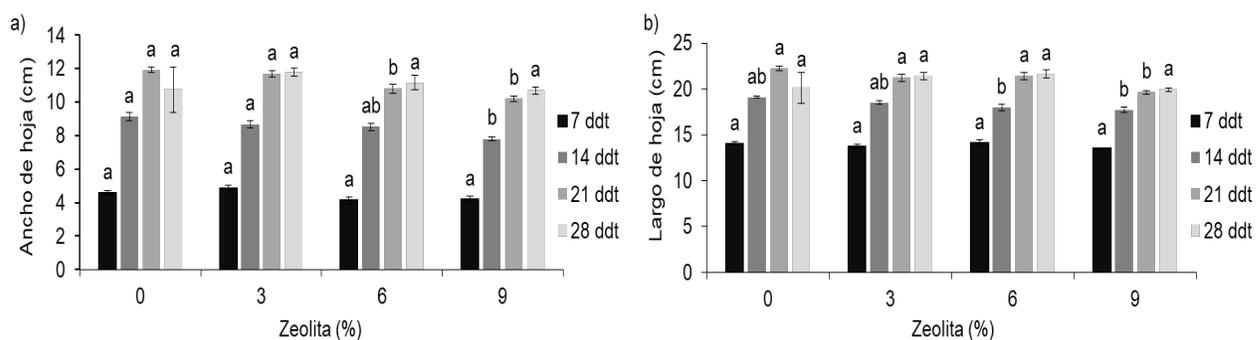


Figura 2. Ancho (a) y largo (b) de la hoja más grande de plantas de lechuga, tratadas con zeolita al 0, 3, 6 y 9% a los 7, 14, 21 y 28 días después del trasplante. Medias \pm EE con letras diferentes en cada figura indican diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 2. Width (a) and length (b) of the largest leaf of lettuce plants treated with 0, 3, 6, and 9% zeolite at 7, 14, 21, and 28 days after transplanting. Means \pm SE with different letters in each figure indicate differences between treatments (Tukey, $p \leq 0.05$).

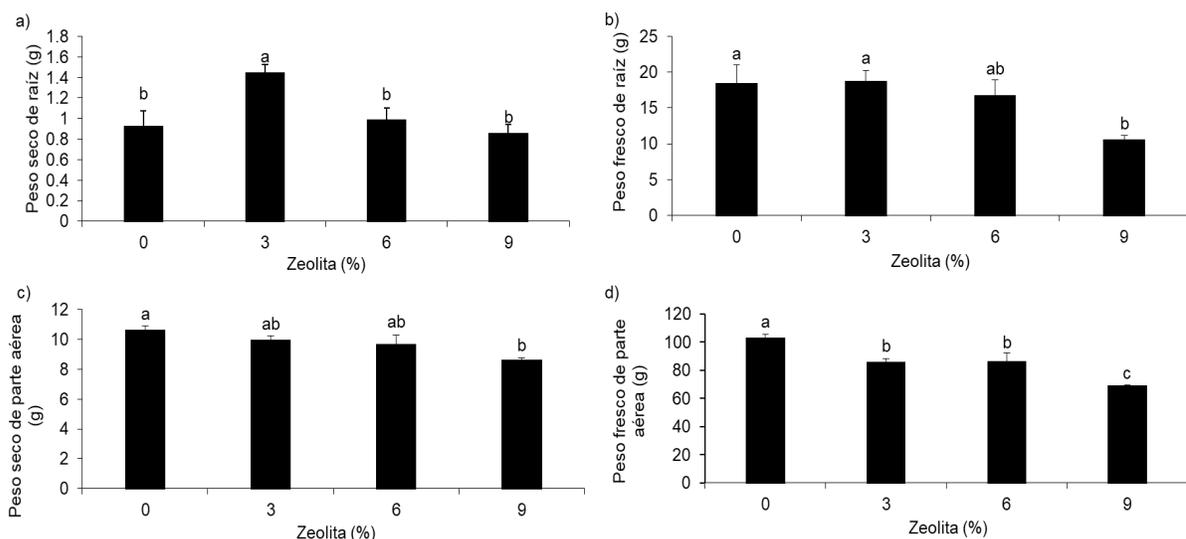


Figura 3. Biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz de plantas de lechuga tratadas con 0, 3, 6 y 9% de zeolita. a) Peso seco de raíz, b) peso fresco de raíz, c) peso seco de parte aérea y d) peso fresco de parte aérea. Medias \pm EE con letras diferentes en cada figura indican diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 3. Fresh and dry biomass of the aboveground and root parts of lettuce plants treated with 0, 3, 6, and 9% zeolite. A) Root dry weight, b) root fresh weight, c) shoot dry weight, and d) shoot fresh weight. Means \pm SE with different letters in each figure indicate differences between treatments (Tukey, $p \leq 0.05$).

La incorporación de zeolita al 9 % en plantas de lechuga mostró un efecto negativo en variables morfológicas como altura de planta, diámetro de tallo, ancho y largo de hoja, y número de hojas. Resultados semejantes se han registrado en calabaza ‘Grey Zucchini’ y en plántulas de pepino, donde concentraciones elevadas de zeolita disminuyeron la altura de planta, el diámetro del tallo y el área foliar (Apáez-Barrios et al., 2019; Jankauskienė et al., 2019). Sin embargo, otros estudios describen efectos opuestos cuando se aplican proporciones menores ($\leq 5\%$) o granulometrías más finas, con incrementos en altura, área foliar, longitud radicular y biomasa en tomate, lechuga y geranio (Gül et al., 2005; Kolar et al., 2010; Méndez-Argüello et al., 2018), lo que sugiere la existencia de un umbral a partir del cual la zeolita deja de actuar como enmienda benéfica y se convierte en factor limitante.

Lo cual puede deberse a que a dosis elevadas la zeolita altera las relaciones iónicas y reduce la disponibilidad inmediata de elementos como el potasio y calcio. Paralelamente, la concentración 9% pudo incrementar la densidad aparente, dificultar la absorción de agua y provocar menor turgencia celular, con repercusiones directas en la expansión foliar. Adicionalmente, las zeolitas ricas en cationes básicos tienden a elevar el pH, lo que limita la solubilidad de micronutrientes clave como hierro y manganeso y compromete la síntesis de clorofila; sin embargo, el índice de verdor no varió, coincidiendo con lo reportado para tomate y pepino cultivados en turba con zeolita (Méndez-Argüello et al., 2018; Jankauskienė et al., 2019), lo cual sugiere que el fertirriego compensó eventuales desequilibrios.

En lo referente a la biomasa, la zeolita redujo el peso fresco de raíces y parte aérea, mientras que el peso seco radicular aumentó con 9% de zeolita, un indicio de respuesta adaptativa mediante tejidos más lignificados y densos que permiten explorar el medio con menor gasto energético. Hallazgos parcialmente congruentes se observaron en calabaza cultivada en suelo enriquecido con zeolita (Lira-Saldívar et al., 2017) y en pimiento ‘Friggitello’ (Prisa, 2023), donde las mejoras en biomasa dependieron de la dosis y el entorno radicular.

Estos resultados confirman que la zeolita no constituye una solución universal; su eficacia exige un balance cuidadoso entre dosis y contexto. Las concentraciones más benéficas para hortalizas de hoja tienden a ubicarse por debajo de 5%,

mientras que fracciones superiores pueden restringir tanto la disponibilidad de agua como el equilibrio nutricional. En consecuencia, los futuros ensayos deberán incluir curvas dosis-respuesta detalladas, caracterización fisicoquímica del sustrato y ajustes finos del fertirriego para definir rangos seguros y rentables antes de recomendar la adopción generalizada de la zeolita en lechuga y cultivos afines.

CONCLUSIÓN

La adición de zeolita en concentraciones superiores al 6 % afectó negativamente el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* cv. Maximus), tanto en variables morfológicas como en la biomasa fresca y seca. No obstante, se requiere mayor investigación para comprender cómo interactúan distintas dosis de zeolita en este tipo de hortaliza, ya que la información disponible es limitada y los resultados reportados en la literatura son inconsistentes.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo en colaboración con el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, y el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán. Se agradece a ambas instituciones el apoyo brindado, así como el tiempo y los recursos destinados para el desarrollo de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Apáez-Barrios, P., Lara-Chávez, M. B. N., Apáez-Barrios, M., & Raya-Montaño, Y. A. (2019). Producción y rentabilidad de calabacita con aplicación de zeolita y fertilizante químico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 211-221.
- Cronstedt, A. F. (1756). Observation and description of an unknown kind of rock to be named zeolites. *Kongl Vetenskaps Acad Handl Stockh*, 17, 120-123.
- Gül, A., Eroğul, D., & Ongun, A. R. (2005). Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae*, 106(4), 464-471.
- Ivanova, I. I., & Knyazeva, E. E. (2013). Micro–mesoporous materials obtained by zeolite recrystallization: synthesis, characterization and catalytic applications. *Chemical Society Reviews*, 42(9), 3671-3688.

- Jankauskienė, J., Brazaitytė, A., Kairienė, V. V., & Zalatorius, V. (2019). Effects of peat and peat-zeolite substrates on quality, growth indices of cucumber seedlings and crop productivity. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(5), 161-170.
- Kolar, M., Dubský, M., Šrámek, F., & Pintar, M. (2010). The effect of natural zeolite in peat based growing media on *Pelargonium zonale* plants. *European Journal of Horticultural Science*, 75(5), 226.
- Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., Felipe-Victoriano, M., Vera-Reyes, I., & Cárdenas-Flores, A. (2017). Gas exchange, yield and fruit quality of *Cucurbita pepo* cultivated with zeolite and plastic mulch. *Agrochimica: International Journal of Plant Chemistry, Soil Science and Plant Nutrition*, 61(2), 123–139.
- Méndez Argüello, B., Vera Reyes, I., Cárdenas Flores, A., Santos Villarreal, G., Ibarra Jiménez, L., & Lira Saldivar, R. H. (2018). Water holding capacity of substrates containing zeolite and its effect on growth, biomass production and chlorophyll content of *Solanum lycopersicum* Mill. *Nova scientia*, 10(21), 45-60.
- Prisa, D. (2023). Study and evaluation of natural zeolite and dried zeolite for the cultivation of friggitelto pepper. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(2), 632–641.
- Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, A. (2017). Manual de producción de lechuga. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s. f.). Fresca como la lechuga. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/fresca-como-la-lechuga#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20en%202021%20se,Lechuga%20baby%20leaf>
- SAS Institute Inc. (2009). SAS/STAT® software: Changes and enhancements, release 6.10. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In *Sixth International Congress on Soilless Culture. Proceedings International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands* (pp. 633-650).

